

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**

**HORNICKO-GEOLOGICKÁ FAKULTA**

Katedra environmentálního inženýrství

**ZHODNOCENÍ VÝVOJE KONCENTRACE VYBRANÝCH  
PARAMETRŮ V HRADIŠŤSKÉM POTOCE JAKO DŮSLEDEK  
ZNEČIŠTĚNÍ MDČOV TYPU AKTIVACE**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Autor:**

**Bc. Nikola Cielecká**

**Vedoucí diplomové práce:**

**Mgr. Iva Melčáková, Ph. D.**

**Ostrava 2018**

**VŠB - TECHNICAL UNIVERSITY OF OSTRAVA**

**FACULTY OF MINING AND GEOLOGY**

Department of environmental engineering

**THE ASSESSMENT OF CONCENTRATION DEVELOPMENT OF  
SELECTED PARAMETERS IN THE HRADIŠŤSKÝ STREAM AS A  
RESULT OF CONTAMINATION BY SMALL DOMESTIC  
WASTEWATER TREATMENT PLANTS WITH ACTIVATED  
SLUDGE**

**DIPLOMA THESIS**

**Author:**

**Bc. Nikola Cielecká**

**Supervisor:**

**Mgr. Iva Melčáková Ph. D.**

**Ostrava 2018**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Hornicko-geologická fakulta  
Institut environmentálního inženýrství

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Nikola Cielecká**  
Studijní program: N2102 Nerostné suroviny  
Studijní obor: 3904T005 Environmentální inženýrství  
Téma: **Zhodnocení vývoje koncentrace vybraných parametrů v Hradištském potoce jako důsledek znečištění MDČOV typu aktivace**  
**The Assessment of Concentration Development of Selected Parameters in the Hradištský Stream as a Result of Contamination by Small Domestic Wastewater Treatment Plants with Activated Sludge**

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod a cíl práce
2. Literární přehled problematiky (Čištění odpadních vod. Popis vybraných fyzikálně-chemických parametrů)
3. Metody zpracování
4. Výsledky a diskuze
5. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

1. HUBAČÍKOVÁ, Věra a Petra OPPELTOVÁ. Úpravy vodních toků a ochrana vodních zdrojů. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2008. ISBN 978-80-7375-243-9.
2. LANGHAMMER, Jakub. Kvalita povrchových vod a jejich ochrana [online]. Praha, 2002 [cit. 2017-10-23]. Dostupné z: [https://web.natur.cuni.cz/~langhamr/lectures/wq/skripta/skriptaWQ\\_2009\\_web.pdf](https://web.natur.cuni.cz/~langhamr/lectures/wq/skripta/skriptaWQ_2009_web.pdf). Katedra fyzické geografie a geoekologie, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova.
3. PITTER, Pavel. Hydrochemie. 4., aktualiz. vyd. Praha: Vydavatelství VŠCHT Praha, 2009. ISBN 978-80-7080-701-9.
4. ŠÁLEK, Jan, Zdeňka ŽÁKOVÁ a Petr HRNČÍŘ. Přírodní čištění a využívání vody v rodinných domech a rekreačních objektech. Brno: ERA, 2008. 21. století. ISBN 978-80-7366-125-0.
5. ŠÁLEK, Jan a Václav TLAPÁK. Přírodní způsoby čištění znečištěných povrchových a odpadních vod. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2006. Technická knižnice autorizovaného inženýra a technika. ISBN

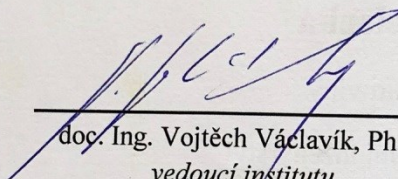


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

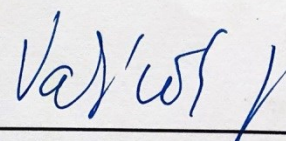
Vedoucí diplomové práce: **Mgr. Iva Melčáková, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2017

Datum odevzdání: 30.04.2018

  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Vojtěch Václavík, Ph.D.  
*vedoucí institutu*



  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Jan Valíček, Ph.D.  
*děkan fakulty*



## AUTORSKÉ PROHLÁŠENÍ

Celou diplomovou práci včetně příloh, jsem vypracovala samostatně a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

- Byla jsem seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Souhlasím s tím, že diplomová práce je licencována pod Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported licencí. Pro zobrazení kopie této licence, je možno navštívit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu o komerční využití z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu komerčnímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne 27.4.2018

*Bc. Nikola Čelchová*  
.....

### **PODĚKOVÁNÍ:**

Tímto bych velmi ráda poděkovala vedoucí mé diplomové práce Mgr. Ivě Melčákové Ph. D. za cenné rady, ochotu, čas a odborné vedení, které mi poskytla při zpracování mé diplomové práce. Dále bych chtěla poděkovat paní Jarmile Bílské za umožnění provedení analýzy v laboratoři. V neposlední řadě bych chtěla poděkovat rodině a přátelům za podporu během studia.

## ANOTACE

Diplomová práce se zabývá vývinem koncentrací vybraných fyzikálně – chemických parametrů v Hradištském potoce v důsledku znečištění odpadní vodou z malé domovní čistírny odpadních vod (dále MDČOV) typu aktivace. K tomuto účelu byly pro analýzu pravidelně odebírány vzorky povrchové vody celkem z šesti odběrových míst v podélném profilu toku, a to každý měsíc v období od října 2016 do září 2017. Místa odběru byla zvolena nad a pod výtokem odpadní vody z MDČOV typu aktivace. Dosažené výsledné hodnoty byly zhodnoceny podle aktuální legislativy a porovnaly se s přípustným znečištěním povrchových vod podle NV č. 401/2015 Sb. Následně se určila kvalita vody v recipientu v každém hodnoceném místě zařazením do konkrétní třídy kvality vody dle ČSN 75 7221 Kvalita vod – Klasifikace kvality povrchových vod. Teoretická část je věnována základnímu rozdělení odpadních vod, popisu fyzikálně – chemických parametrů.

**Klíčová slova:** Hradištský potok, recipient, podélný profil, fyzikálně – chemické parametry, odpadní voda, malá domovní čistírna odpadních vod, kvalita vody.

## SUMMARY

The diploma thesis deals with the development of the concentration of selected physico - chemical parameters in "Hradištský stream" as a result of wastewater pollution from a small sewage treatment plant (MDČOV) type of activation. For this purpose, samples of surface water were taken regularly from the six sampling points in the longitudinal profile of the flow, each month between October 2016 and September 2017. The sampling points were selected before and below the outlet of waste water from MDČOV, type of activation. The obtained final results were evaluated according to the current legislation and compared with the permissible pollution of surface waters according to Government Decree No. 401/2015. Subsequently, the quality of the water in the recipient at each evaluated site was determined by inclusion in a specific water quality class according to ČSN 75 7221 Water quality - Classification of surface water quality. The theoretical part deals with basic wastewater distribution, description of physico - chemical parameters.

**Keywords:** Hradištský stream, recipient, physical – chemical parameters, waste water, small domestic wastewater treatment plant, water quality, longitudinal profile.

## **OBSAH**

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>ÚVOD A CÍL PRÁCE.....</b>                              | <b>1</b>  |
| <b>2</b> | <b>LITERÁRNÍ PŘEHLED PROBLEMATIKY .....</b>               | <b>3</b>  |
| 2.1      | Odpadní voda .....  | 3         |
| 2.1.1    | Rozdělení odpadních vod.....                              | 3         |
| 2.2      | Technologie čištění odpadních vod MDČOV .....             | 5         |
| 2.3      | Hodnoty minimální účinnosti čištění MDČOV .....           | 6         |
| <b>3</b> | <b>FYZIKÁLNĚ-CHEMICKÉ PARAMETRY .....</b>                 | <b>8</b>  |
| 3.1      | Biochemická spotřeba kyslíku (BSK <sub>5</sub> ).....     | 8         |
| 3.2      | Chemická spotřeba kyslíku (CHSK <sub>Cr</sub> ) .....     | 9         |
| 3.3      | Poměr BSK <sub>5</sub> : CHSK <sub>Cr</sub> .....         | 10        |
| 3.4      | Celkový dusík (N <sub>celk</sub> ).....                   | 10        |
| 3.5      | Amoniakální dusík (N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ).....  | 11        |
| 3.6      | Dusitanový dusík (N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ).....   | 12        |
| 3.7      | Dusičnanový dusík (N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) ..... | 12        |
| 3.8      | Celkový fosfor (P <sub>celk</sub> ) .....                 | 13        |
| 3.9      | Teplota vody.....   | 14        |
| 3.10     | Obsah rozpuštěného kyslíku .....                          | 14        |
| 3.11     | Hodnota pH .....  | 15        |
| 3.12     | Konduktivita .....  | 16        |
| 3.13     | Oxidačně – redukční potenciál (ORP).....                  | 16        |
| <b>4</b> | <b>METODY ZPRACOVÁNÍ .....</b>                            | <b>18</b> |
| 4.1      | Odběr vzorků.....   | 19        |
| 4.2      | Metody analýzy vzorků.....                                | 23        |
| 4.2.1    | Stanovení fyzikálně - chemických parametrů.....           | 23        |



|                                  |   |           |
|----------------------------------|---|-----------|
| 4.3                              | Metodika hodnocení.....                                   | 27        |
| <b>5</b>                         | <b>VÝSLEDKY A DISKUZE .....</b>                           | <b>29</b> |
| 5.1                              | Biochemická spotřeba kyslíku (BSK <sub>5</sub> ).....     | 29        |
| 5.2                              | Chemická spotřeba kyslíku (CHSK <sub>Cr</sub> ) .....     | 31        |
| 5.3                              | Poměr BSK <sub>5</sub> : CHSK <sub>Cr</sub> .....         | 33        |
| 5.4                              | Celkový dusík (N <sub>celk</sub> ).....                   | 34        |
| 5.5                              | Amoniakální dusík (N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ).....  | 36        |
| 5.6                              | Dusitanový dusík (N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ).....   | 42        |
| 5.7                              | Dusičnanový dusík (N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) ..... | 44        |
| 5.8                              | Celkový fosfor (P <sub>celk</sub> ) .....                 | 46        |
| 5.9                              | Teplota vody.....   | 50        |
| 5.10                             | Obsah rozpuštěného kyslíku.....                           | 51        |
| 5.11                             | Hodnota pH .....  | 58        |
| 5.12                             | Konduktivita .....  | 60        |
| 5.13                             | Oxidačně – redukční potenciál (ORP).....                  | 62        |
| <b>6</b>                         | <b>ZÁVĚR .....</b>  | <b>63</b> |
| <b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b> |   |           |
| <b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK</b>  |   |           |
| <b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b>            |   |           |
| <b>SEZNAM TABULEK</b>            |   |           |
| <b>SEZNAM PŘÍLOH</b>             |   |           |
|                                  | <b>PŘÍLOHY .....</b>                                      | <b>1</b>  |

## 1 ÚVOD A CÍL PRÁCE

Povrchová voda se na zemském povrchu vyskytuje přirozeně ať už trvale či po krátkou dobu. Můžeme se setkat s tekoucí či stojatou povrchovou vodou. V tocích můžeme narazit na různou kvalitu vody, protože po jejich délce i šířce kvalita vody značně kolísá [1].

Povrchová voda má mnoho využití, je zdrojem pitné i užitkové vody pro všechny organismy a v neposlední řadě slouží k rekreačním účelům či k chovu ryb. Proto je víc než nutné zabránit kontaminaci vody a neustále kontrolovat koncentraci znečišťujících látek, které se ve vodě vyskytují, aby nedocházelo ke snížení biologické rovnováhy a schopnosti samočištění [1]; [2].

Nároky na kvalitu a potřebu povrchových vod jsou v současné době stále vyšší, vzhledem k rozvíjejícímu se průmyslu, zemědělství a zvyšujícím se počtu obyvatel. Důvodem klesající kvality povrchových vod je stále rostoucí množství znečišťujících látek antropogenního původu, které se do vod povrchových i podzemních dostávají. Tyto znečišťující látky mohou negativně měnit estetické, chemické či fyzikální vlastnosti vody. Nejčastějším zdrojem těchto látek jsou odpadní vody [1]; [2].

Produkce odpadních vod v České republice neustále roste, ročně se vyprodukuje přibližně půl miliardy m<sup>3</sup> těchto vod (bez srážkových vod), avšak převážná část jich je nějakým způsobem znečištěná v závislosti na vzniku a složení odpadní vody. Jelikož se převážná část odpadních vod vypouští do vod povrchových a v menší míře podzemních je nutné co jak nejefektivněji redukovat objem a množství znečištění vypouštěných odpadních vod, aby nedocházelo k narušení kvality vody v recipientech [3].

Tento problém je v posledních letech řešen především u malých zdrojů znečištění bez možnosti napojení na veřejnou kanalizaci. V současné době není na obecnou kanalizaci v České republice napojeno více než 1,5 milionu lidí. Tato populace vlastní septiky či zastaralé prosakující jímky, které výrazně přispívají k zhoršování kvality povrchových a dokonce i podzemních vod. Díky tomuto poznatku byl pro obce Ministerstvem životního prostředí prostřednictvím Státního fondu životního prostředí ČR zrealizován dotační program na výstavbu malých domovních čistíren odpadních vod (MDČOV) ve výši 200 mil. korun. Dotace na realizaci MDČOV s kapacitou do 50 EO se

vztahují pouze pro domy, které slouží jako trvalé bydliště. Cílem dotačního programu je předcházet vzniku značně znečištěných odpadních vod z komunálních zdrojů a tak přispět k zlepšení kvality povrchových vod v ČR [4]; [5]; [6].

S ohledem na dotační program výstavba MDČOV v ČR od roku 2018 markantně vzroste vzhledem k 1042 přijatým žádostem na podporu MDČOV v roce 2017, kvůli čemuž se zvýšila i státní podpora z původních 100 milionů na 200 milionů korun. Momentálně je v ČR vystaveno zhruba 30 tisíc MDČOV [4]; [7].

Měli bychom se ale zamyslet nad možnými riziky, která mohou s provozem MDČOV nastat, protože jejich údržba a provoz není tak bezstarostný jak prodejní firmy uvádějí. Problémy mohou nastat při nepravidelném nátoku velkého množství odpadních vod na čistírnu, ve složení odpadních vod, k náchylnosti biologické části k toxickým látkám z domácností při užívání častých dezinfekčních prostředků a v neposlední řadě se zabezpečením kvalifikované obsluhy a údržby. Zmíněné aspekty jsou tak příčinou nižší kvality odpadní vody na odtoku z čistírny oproti městským čistírnám odpadních vod (ČOV) [3].

Ke zhodnocení kvality povrchové vody pod MDČOV typu aktivace byly v této diplomové práci vybrány fyzikálně-chemické parametry na základě výsledků bakalářské práce Cielecká [16]. Ve výše uvedené bakalářské práci koncentrace znečišťujících látek v recipientu, do kterého ústila odpadní voda z MDČOV typu aktivace překročily hodnoty přípustného znečištění pro povrchové vody u těchto chemických parametrů: amoniakální dusík, celkový dusík, celkový fosfor, biochemická spotřeba kyslíku a chemická spotřeba kyslíku.

Samotná lokalita Hradišťský potok pak byla vybrána na základě kontinuálního měření fyzikálně - chemických parametrů, a to od roku 2013.

Hlavním cílem této diplomové práce je zhodnotit vývoj koncentrace vybraných fyzikálně-chemických parametrů (rozpuštěný kyslík, biochemickou spotřebu kyslíku, chemickou spotřebu kyslíku, celkový dusík, amoniakální dusík, dusitanový dusík, dusičnanový dusík, celkový fosfor, teplotu, pH, oxidačně-redukční potenciál, konduktivitu) v Hradišťském potoce, a to na lokalitách původních a nově zvolených jako důsledek znečištění odpadní vodou z MDČOV typu aktivace.

## **2 LITERÁRNÍ PŘEHLED PROBLEMATIKY**

V první řadě bude popsána definice odpadní vody a její rozdělení. V řadě druhé technologie a minimální účinnost čištění malých domovních čistíren odpadních vod - (MDČOV).

### **2.1 Odpadní voda**

Odpadní voda je jakákoliv voda, která má zhoršenou kvalitu vody vyznačující se změnou teploty nebo složením. Jedná se o použitou vodu, která pochází z domácností, z průmyslových odvětví, ze zdravotnictví, zemědělství a z dalších zařízení, kde voda prošla jakýmkoliv výrobním procesem a změnily se tak její fyzikální a chemické vlastnosti. Takové odpadní vody jsou vypouštěny do recipientů (povrchových vod), kde mohou negativně ovlivňovat jejich kvalitu. Mezi odpadní vody se řadí i průsakové odpadní vody pocházející ze skládek odpadů, které se mohou dostat jak do povrchových tak i podzemních vod [8].

#### **2.1.1 Rozdělení odpadních vod**

Odpadní vody - (OV) se dělí podle původu vzniku v závislosti na obsahu a charakteru znečišťujících látek [9].

Splaškové odpadní vody – neboli komunální pocházejí z běžné lidské činnosti v domácnosti, patří zde splašky z koupelen, kuchyní, toalet apod. Jedná se OV z měst, sídlišť a obytných budov odváděné především stokovou kanalizační sítí. U malých zdrojů znečištění mohou být tyto odpadní vody napojeny na MDČOV [9]; [10].

Průmyslové odpadní vody – vznikají při výrobních procesech v různých průmyslových závodech. Mají různých charakter znečištění, daný použitou technologií výroby. Takové odpadní vody mají vysoké koncentrace znečišťujících látek různého charakteru (např. těžké kovy, pesticidy), které je nutno odstranit ještě před samotným vstupem těchto OV do veřejné kanalizace. Musí řádně splňovat podmínky provozního řádu kanalizace, aby byly čistitelné na komunální ČOV. V dnešní době je již většina průmyslových závodů opatřena vlastní ČOV [9]; [10].

Infekční vody - pocházejí ze zdravotnictví, konkrétně z oddělení infekčních nemocnic, z mikrobiologických laboratoří a také vznikají při výrobě očkovacích látek pro



infikovanou zvěř. Vyznačují se především množstvím choroboplodných zárodků, které je nutno odstranit zvláštním opatřením ještě před samotným vstupem do stokové sítě [10].

Odpadní vody ze zemědělské činnosti – jedná se o vody znečištěné statkovými a průmyslovými hnojivy, silážními a senážními šťávami. Silážní a senážní šťávy narušují kyslíkový režim a následně způsobují velmi intenzivní zápach vody, který je podmíněn rozvojem železitých bakterií. Mezi přírodní statková hnojiva patří např. močůvka, chlévský hnůj, kejda a mezi nejčastěji používaná průmyslová hnojiva se řadí dusíkatá (např. ledek amonný, ledek amonný s vápencem) a fosforečná (např. superfosfát) hnojiva. Amonné ionty jsou vlivem nitrifikačních bakterií přeměňovány na dusičnany, které se splachem půdních částic dostávají do povrchových i podzemních vod [10]; [11].

Šedé odpadní vody – jsou specifickou skupinou odpadních vod pocházejících z koupelen, praní prádla, umyvadel, sprchování, myček apod. Vyznačují se tím, že neobsahují moč ani fekálie. Odvádění šedých vod by se mělo provádět odděleně od běžných splaškových odpadních vod, aby se mohly případně dále využít po jejich úpravě např. pro splachování toalet či k čištění komunikací [12]; [13].

Dešťové odpadní vody - představují srážkové vody obohacené znečišťujícími látkami, které jsou odváděny z intravilánu obce jednotnou kanalizací (určena k odvádění splaškových i dešťových vod najednou) nebo pouze dešťovou kanalizací (určena výlučně k odvodu dešťové vody). Charakter znečištění srážkových vod je ovlivněn atmosférickou depozicí v dané lokalitě, což je ve většině případů zanedbatelný problém. Z hlediska problematiky jsou daleko závažnější látky, které jsou dešťovou vodou pohlcovány cestou do kanalizace a také dešťové vody obohacené ropnými látkami v blízkosti benzínových pump a silnic [14]; [15].

Balastní vody – jedná se o podzemní vody, které se dostaly do styku s odpadními vodami v kanalizační síti. Mají negativní dopad na OV, jelikož je ochlazují a ředí [9]; [10].

## 2.2 Technologie čištění odpadních vod MDČOV

Podle konkrétních typu MDČOV se liší způsoby čištění a s tím související kvalita vyčištěných odpadních vod. Jednotlivé způsoby čištění OV se rozlišují dle použité technologie. Základních čistících technologií existuje spousta, avšak MDČOV využívají především kombinaci dvou základních procesů čištění a to mechanické (odstranění hrubých nečistot) a biologické čištění (rozklad organického znečištění pomocí mikroorganismů). U biologického čištění se využívají dvě metody čištění OV:

- Anaerobní MDČOV - v kombinaci s dalším stupněm čištění (doporučen pískový či zemní filtr),
- Aerobní MDČOV - podle použitých procesů se rozdělují na (biodiskové, biofiltry, aktivační, kombinace aktivace a nárostových kultur) [16]; [17].

V České republice je většina MDČOV založena na biologickém čištění OV s technologií aktivace. Tabulka 1 podává přehled nejpoužívanějších technologií čištění v ČR založených na aktivačním procesu. Podrobný popis hlavních technologií čištění OV je uveden v mé bakalářské práci (Cielecká, 2016) [16]; [17].

**Tabulka 1: Technologie biologického čištění využívané MDČOV [16]**

| <b>Technologie čištění</b>   |
|--|
| Aktivace s nízko-zátěžovým kalem   |
| Aktivace za aerobních podmínek   |
| Aktivační proces s aerobní stabilizací kalu                                  |
| Aktivační proces s anaerobní stabilizací kalu                                |
| Klasická aktivace za aerobních podmínek                                      |
| Technologie SBR (Sequencing Batch Reactor) – aktivace v aerobních podmínkách |
| 3 stupňový reaktor SBR – aktivace s cirkulací aktivační směsi                |
| Technologie s membránami (s tzv. vyšší úrovní čištění)                       |
| Kombinace aktivačních procesů a nárostových kultur                           |

## 2.3 Hodnoty minimální účinnosti čištění MDČOV

Vyčištěné odpadní vody z certifikovaných MDČOV se nejčastěji vypouštějí do vod povrchových a v menší míře do vod podzemních. Obě možnosti jsou podmíněny platnou legislativou [18].

Vypouštění OV do vod podzemních se řídí NV č. 57/2016 Sb. „o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění odpadních vod a náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod podzemních“. V příloze č. 2 k tomuto nařízení jsou uvedeny hodnoty základních ukazatelů pro domovní čistírny do 50 ekvivalentních obyvatel (EO) s klasifikací výrobku označovaných CE [19]. Tyto hodnoty jsou uvedeny v Tabulka 2.

Tabulka 2: Minimální účinnost čištění CE MDČOV vyústějících do podzemních vod [19]

| Ukazatel klasifikace | BSK <sub>5</sub> | CHSK <sub>Cr</sub> | P <sub>celk</sub> [%] | N <sub>celk</sub> [%] |
|----------------------|------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|
| MDČOV                | 95               | 90                 | 40                    | 50                    |

Vypouštění odpadních vod z MDČOV do vod povrchových se řídí NV č. 401/2015 Sb. „o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech“. Hodnoty minimální účinnosti čištění, které musí certifikované MDČOV splňovat jsou uvedeny v Tabulka 3 podle daných hydrochemických ukazatelů.

Tabulka 3: Minimální účinnost čištění CE MDČOV vyústějících do povrchových vod [20]

| Třída MDČOV | BSK <sub>5</sub> [%] | CHSK <sub>Cr</sub> [%] | P <sub>celk</sub> [%] | N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> [%] | N <sub>celk</sub> [%] |
|-------------|----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------------------|-----------------------|
| I           | 80                   | 70                     | -                     | -                                  | -                     |
| II          | 85                   | 75                     | -                     | 75                                 | -                     |
| III         | 85                   | 75                     | 80                    | 80                                 | 50                    |

Třída I - MDČOV vyhrazené pro běžné vypouštění do povrchových vod [18]; [20].

Třída II – MDČOV s vyšší účinností odstranění uhlíkatého znečištění a současně s konstantní nitrifikací. Musí být vybaveny větším objemem aktivace např. nosič biomasy [18].

Třída III - MDČOV s vyšší účinností nitrifikace, částečné odstraňování dusíku denitrifikací a odstranění fosforu. Jedná se o MDČOV třídy (kategorie) II opatřené dalším stupněm čištění – filtrací (např. membránovou), chemickým srážením či sorpcí. Je zde

kladen větší důraz na složení vypouštěných odpadních vod do povrchových vod vzhledem k využití těchto vod pro vodárenské účely [20].

Např. v této studii testovaná MDČOV Gonap typu 5Pb má garantované hodnoty účinnosti čištění uvedeny v Tabulka 4.

**Tabulka 4: Garantované průměrné hodnoty účinnosti čištění MDČOV - Gonap 5Pb [21]**

| <b>Průměrná účinnost čištění</b> | <b>BSK<sub>5</sub> [%]</b> | <b>CHSK [%]</b> | <b>N-NH<sub>4</sub> [%]</b> | <b>NL [%]</b> | <b>P<sub>celk</sub> [%]</b> |
|----------------------------------|----------------------------|-----------------|-----------------------------|---------------|-----------------------------|
| <b>Hodnoty</b>                   | 97                         | 94              | 89                          | 98            | 86                          |

Vyčištěné odpadní vody mají často zhoršenou kvalitu vody, jelikož nejsou dokonale zbaveny všech organických a anorganických látek. Obsahují malé koncentrace tzv. zbytkového znečištění, které se vlivem vypouštění těchto vod do recipientů dostávají do kontaktu s povrchovými, popř. podzemními vodami [18]; [22].



### 3 FYZIKÁLNĚ-CHEMICKÉ PARAMETRY

Celkový stav vodního prostředí lze vyjádřit pomocí fyzikálně-chemických ukazatelů, které se měří přímo v terénu. Výsledné koncentrace vybraných fyzikálně-chemických ukazatelů v daném vzorku vody následně slouží k hodnocení stavu kvality vody.

Stanovení fyzikálních ukazatelů úzce souvisí s analytickým stanovením chemických a biologických ukazatelů jakosti povrchových a podzemních vod, jelikož v některých případech dochází k jejich vzájemnému ovlivňování [1].

Pro monitoring byly vybrány fyzikálně – chemické parametry: biochemická spotřeba kyslíku, chemická spotřeba kyslíku, celkový dusík, amoniakální dusík, dusitanový dusík, dusičnanový dusík, celkový fosfor, teplota, pH, oxidačně-redukční potenciál a konduktivita. Tyto parametry byly zvoleny účelně, aby se porovnály naměřené hodnoty s přípustným znečištěním povrchových vod podle nařízení vlády č. 401/2015 Sb. a následně se voda v recipientu zařadila do příslušné třídy kvality vod. Při výběru se přihlíželo k dosaženým výsledkům z bakalářské práce Cielecká [16], ze které vyplynulo, že bylo překročeno přípustné znečištění povrchových vod u parametrů biochemické spotřeby kyslíku, chemické spotřeby kyslíku, celkového fosforu, amoniakálního dusíku a celkového dusíku.

Vybrané fyzikálně – chemické parametry ve vodním prostředí jsou popsány v následujících kapitolách. Podrobnější popis těchto ukazatelů se nachází v mé bakalářské práci: Monitoring malé domovní čistírny odpadních vod typu aktivace z roku 2016 [16].

#### 3.1 Biochemická spotřeba kyslíku (BSK<sub>5</sub>)

Biochemická spotřeba kyslíku udává hmotnostní koncentraci rozpuštěného kyslíku, který se spotřebuje při biochemické oxidaci snadno rozložitelných organických látek za aerobních podmínek [1]; [16].

Pomocí ukazatele BSK<sub>5</sub> se vyjadřuje většinou znečištění z bodových a difúzních zdrojů. Mezi hlavní zdroje znečištění, které jsou tímto ukazatelem vyjadřovány, patří biochemicky rozložitelné organické látky ze splaškových odpadních vod. Vodní toky jsou tímto znečištěním zatíženy z různých zdrojů znečištění, mezi něž patří splaškové OV,

splachy z polí, odpady ze živočišné výroby, OV z průmyslu (potravinářského, chemického, papírenského) [1]; [2].

V toku koncentrace  $BSK_5$  vykazuje nepřímou závislost na průtoku, tj. s rostoucím průtokem se dané znečištění v toku naředí a následně koncentrace  $BSK_5$  klesají [1]; [2].

K náhlým vzrůstům koncentrací  $BSK_5$  dochází v lokalitách, které jsou využívány jako rekreační oblasti či místa ke konání veletrhů apod. Což je způsobeno nárůstem EO s následným nárazovým zvýšením obsahu vypuštěných odpadních vod [2].

Na podélném profilu toku se zpravidla koncentrace  $BSK_5$  zvyšují pod výpustí ČOV. V recipientech se od roku 1990 do roku 2000 v ČR znečištění v podobě  $BSK_5$  výrazně snížilo, čemuž vděčíme nově vystaveným ČOV [2].

### 3.2 Chemická spotřeba kyslíku ( $CHSK_{Cr}$ )

Chemická spotřeba kyslíku udává množství kyslíku, které se spotřebuje na oxidaci všech oxidovatelných, organických látek, mezi něž patří těžce i lehce odbouratelné organické látky. Jedná se zejména o rezistentní organické látky, které se dostaly do odpadních vod z průmyslové činnosti. V potaz jsou brány kromě biochemicky rozložitelných látek z komunálních OV i specifické organické látky, mezi něž patří tenzidy, detergenty aj. [1]; [2].

Při analýze povrchových vod se  $CHSK$  mezinárodně stanoví dichromanovou metodou [1]; [2].

Vývoj koncentrace  $CHSK$  v recipientu je ovlivňován ve většině případů průtokem. Čím vyšší průtok se v recipientu vyskytuje, tím nižší koncentrace  $CHSK$  se budou v toku vyskytovat. V podélném profilu toku zpravidla koncentrace  $CHSK$  narůstají pod výpustí z MDČOV. Místa poklesu naopak značí části toku, kde dochází k naředování znečištění například vlivem přitékajícího méně znečištěného soutoku [2].

### 3.3 Poměr $BSK_5$ : $CHSK_{Cr}$

Poměr mezi parametry  $BSK_5$  a  $CHSK_{Cr}$  udává stupeň biologicky snadno rozložitelných látek v daném vzorku povrchové či odpadní vody. Zpravidla se zvyšující se hodnotou podílu je obsah biologicky snadno rozložitelných látek ve vodě větší. Poměry  $BSK_5$  a  $CHSK_{Cr}$  jsou uvedeny v Tabulka 5, podle konkrétního typu vod [1]. Tyto poměry jsou přínosné především tam, kde se chceme znát biochemickou rozložitelnost organických látek v OV [2].

Tabulka 5: Hodnoty poměrů  $BSK_5$  a  $CHSK_{Cr}$  [2]

|                   | Povrchové vody | Odpadní vody | Biologicky vyčištěné OV |
|-------------------|----------------|--------------|-------------------------|
| $BSK_5:CHSK_{Cr}$ | <0,1           | 0,5 - 0,75   | 0,1 - 0,2               |

### 3.4 Celkový dusík ( $N_{celk}$ )

Celkový dusík náleží do skupiny nutrientů, které se významně podílí na biologických procesech probíhajících ve vodách povrchových, podzemních a odpadních [16].

V prostředí se dusík vyskytuje v mnoha formách, které se postupně mění vzhledem k dusíkovému cyklu [23].

Celkový dusík lze vyjádřit pomocí rovnice ve vztahu:

$$N_{celk.} = N-NH_4 + N-NO_2 + N-NO_3 + N_{org} [23].$$

Jednotlivé sloučeniny dusíku jsou v přírodních vodách velice nestabilní, protože lehce podléhají biochemickým a chemickým přeměnám v závislosti na hodnotě pH a ORP (oxidačně redukční potenciál) [1]; [23].

Monitorování obsahu celkového dusíku ve vodách, slouží ke stanovení látkové dusíkové bilance povrchových a odpadních vod [24].

Mezi hlavní plošné zdroje znečišťování vodních toků patří především intenzivní zemědělská činnost, při které se vlivem aplikovaných hnojiv vyluhuje dusík povrchovým splachem z polí. V hnojivech se sloučeniny dusíku nacházejí ve formě dusičnanu amonného, dusičnanu draselného, čpavkové vody a močoviny. Významným zdrojem je také chemický, potravinářský a papírenský průmysl [2]; [24].

Bodovými zdroji emisí dusíku jsou samozřejmě komunální zdroje v podobě čistíren odpadních vod, které patří k nejvýznamnějším zdrojům zejména v oblastech s velkou populací [2]; [24].

Z výsledků z monitoringu a matematického modelování Langhammer [2] se prokázalo, že dochází k pozvolnému vzrůstu podílu plošných a difúzních zdrojů emisí na celkové bilanci znečištění dusíkem [2].

### 3.5 Amoniakální dusík ( $\text{N-NH}_4^+$ )

V přírodních vodách se amoniak nachází většinou v poměrně nízkých koncentracích, obvykle do 0,2 mg/L. Vysoké koncentrace amoniakálního dusíku jsou v povrchových vodách především typickým ukazatel bodového znečištění. Ve vodě se můžeme setkat celkem s dvěma formami amoniaku a to disociovanou vázanou formou ( $\text{NH}_4^+$ ) a nedisociovanou volnou formou ( $\text{NH}_3$ ). O tom, která forma amoniaku bude v toku převažovat, rozhoduje hodnota pH (dle Tabulka 6) a teplota. Obsah nedisociované formy amoniaku ve vodním prostředí stoupá s rostoucí hodnotou pH a teplotou, protože je disociace  $\text{NH}_4^+$  na  $\text{NH}_3$  intenzivnější. Zpravidla pokud je hodnota pH vody nad 8 a teplota se blíží k 25°C vyskytuje se v toku nedisociovaná forma  $\text{NH}_3$  [1]; [25].

Nedisociovaná forma  $\text{NH}_3$  je značně nebezpečná, jelikož vykazuje toxicitu vůči vodním organismům (hlavně rybám), tím že snáze proniká buněčnými membránami [1]; [25]. „*Hranice toxicity je rozdílná, volí se podle druhů ryb, avšak obecně platí rozmezí 0,0125 – 1,0 mg/L  $\text{NH}_3$*  [16, s. 44]. Za oxických podmínek je amoniakální dusík nestálý a velmi rychle podléhá procesu nitrifikace, při které se biochemickou oxidací mění na dusitany pomocí bakterií *Nitrosomonas* a *Nitrosococcus*. Dusitany jsou následně oxidovány na dusičnany za pomoci bakterií *Nitrocystis* a *Nitrobacter*. [1]; [16].

Tabulka 6: Procentuální zastoupení formy amoniaku, podle hodnoty pH [2]

| Hodnota pH | $\text{NH}_3$ (%) | $\text{NH}_4$ (%) |
|------------|-------------------|-------------------|
| 6          | 0                 | 100               |
| 7          | 1                 | 99                |
| 8          | 4                 | 96                |
| 9          | 25                | 75                |
| 10         | 78                | 22                |
| 11         | 96                | 4                 |



Sloučeniny amoniakálního dusíku mají na povrchové vody negativní vliv, především z hlediska snižování obsahu kyslíku v toku, což má za následek např. zarůstání hladiny vodním květem (způsobování eutrofizace), zpomalení rozkladných procesů, odumírání organismů apod. [2].

Langhammer [2] při hodnocení vývoje znečištění toku  $\text{N-NH}_4^+$  dospěl k závěru, že v tocích je hodnota koncentrace  $\text{NH}_4$  ovlivňovaná vodností daného toku. Projevila se tak nepřímá závislost, kdy koncentrace amonných iontů v recipientu klesá vzhledem k intenzivnějšímu ředění. V podélném profilu Labe koncentrace  $\text{N-NH}_4^+$  po dané délce toku postupně výrazně klesala a v místech výpusti OV koncentrace prudce vzrůstala [2].

### 3.6 Dusitanový dusík ( $\text{N-NO}_2^-$ )

Dusitany se mohou vyskytovat ve všech typech vod, avšak jejich koncentrace jsou velice nízké, jelikož se vyznačují svou nestálostí. Vznikají ve vodě jako meziprodukt procesu nitrifikace (biochemická oxidace amoniakálního dusíku) a denitrifikace (biochemická redukce dusičnanů). Obvykle koncentrace dusitanů dosahují hodnot v povrchových a podzemních vodách setiny až desetiny mg/L, záleží na zdroji znečištění. Avšak i tak malé koncentrace mohou být pro ryby a vodní organismy toxické [16]; [26].

Pro představu jak se koncentrace dusitanů vyvíjela v letech 2000 - 2012 nám posloužil monitoring státního Povodí Ohře na řece Bílina. Kdy v letech 2000 – 2001 byly koncentrace opravdu vysoké až 4 mg/L, od roku 2002 se koncentrace výrazně ustálily a klesly pod 0,5 mg/L a méně [26].

### 3.7 Dusičnanový dusík ( $\text{N-NO}_3^-$ )

Dusičnanový dusík je dán posledním konečným stupněm procesu nitrifikace. Dusičnany hrají důležitou roli ve vodním prostředí, protože jsou zásadním zdrojem živin pro vegetaci, která je potřebuje ke svému správnému růstu. Což se projevuje v povrchových vodách výrazným ročním cyklem s měnícím se množstvím dusičnanů. V přirozených vodách koncentrace dusičnanů značně klesají ve vegetačním období (jaro, léto), jelikož jsou dusičnany spotřebovávány vegetací. Naopak mimo vegetační období (podzim, zima) dosahují koncentrace dusičnanu nejvyšších hodnot [2]; [26].

Langhammer [2] potvrdil teorii chodu koncentrací dusičnanů v závislosti na vegetačním období. Jeho monitoring zaznamenal zřetelný nárůst koncentrací  $\text{N-NO}_3^-$  v období zvětšené vodnatosti a patřičný pokles ve vegetačním období na Profilu Želivka-Soutice v zemědělském povodí. Co se týče změn koncentrací dusičnanů v podélném profilu toku Labe, lze usoudit, že se hodnoty příliš po dané délce toku nemění, jen v úsecích přítoků (výrazně neznečištěných) byly zaznamenány poklesy koncentrací dusičnanů [2].

### 3.8 Celkový fosfor ( $P_{\text{celk}}$ )

Celkový fosfor lze definovat jako analytický skupinový ukazatel, který je dán množstvím anorganického (orthofosforečnaný, polyfosforečnaný) a organicky vázaného fosforu. Nejčastější formou vyskytující se v povrchových vodách jsou orthofosforečnany, jejichž hlavním zdrojem jsou ve splaškových odpadních vodách čisticí a prací prostředky. Fosforečnanové ionty jsou charakteristické tím, že se lehce váží na železo, hliník, vápník a hořčík, s nimiž následně tvoří jednoduché soli či komplexy, přičemž se jejich rozpustnost mění v závislosti na hodnotě pH a nasycení vody kyslíkem. V tocích je celkový fosfor zastoupen až z 95% anorganickým nerozpuštěným fosforem, který je tvořen fosforečnany železa, vápníku a hliníku. Tyto fosforečnany jsou buď volně rozptýlovány nebo chemicky či sorpčně vázány na sedimentech nebo anorganických či organických nerozpuštěných látkách [1]; [27].

Zdroje emisí fosforu ve vodním toku:

- Odpadní vody – obsahují fosfor ze dvou hlavních složek a to z fekálií a čisticích prostředků z domácností (např. tablety do myček, prací prostředky),
- Celková produkce fosforu činí 3 g/os/den, vylučování 1,5 g/os/den,
- Splachy ze zemědělství (fosforečnanová hnojiva),
- Průmyslové zdroje,
- Zvětrání horninového podloží a minerálů [1]; [2].

Z hlediska účinku není fosfor přímo považován za toxický pro člověka a živočichy. Ve sladkých povrchových vodách lze vyvolanou toxicitu považovat za nepřímou. Řadí se mezi limitující prvek podporující rozvoj vodního květu ve vodním prostředí, čímž jsou

zapříčiněné toxické účinky cyanobakterií a řas, které způsobí anoxické podmínky ve vodě stimulované znečištěním fosforu [28].

Langhammer [2] uvádí, že závislost fosforu na průtoku se mění vzhledem k typu zdroje znečištění. U bodového zdroje znečištění se projevuje značná závislost fosforu na průtoku na rozdíl od plošného znečištění, kde není závislost příliš zřetelná. Dále uvádí, že koncentrace celkového fosforu a fosforečnanů závisí na příčném zdroji znečištění [2].

### **3.9 Teplota vody**

Teplota vody patří k nejvýznamnějším ukazatelům hodnocení vlastností a jakosti vody. I v relativně úzkém teplotním rozpětí ( $0 - 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) přírodních vod dochází k značnému ovlivnění chemické a biochemické reaktivity. Teplota vody v toku se mění zejména v závislosti na ročním období, popř. je ovlivňována přitékající oteplenou odpadní vodou či jinou antropogenní činností. Problematické jsou především malé vodní toky s poměrně malým průtokem, které jsou velmi náchylné k tepelnému znečištění, hlavně v místech, kde vyúsťují OV z průmyslových zařízení [1]; [2]; [29].

Nejvyšší dosahované hodnoty teplot jsou především dosahovány v měsíci srpnu, dle výzkumu Langhammer [2]. Z naměřených dat ČHMÚ v tocích se průměrné hodnoty třiceti osmiletého monitoringu pohybovaly v rozmezí teplot  $5,6^{\circ}\text{C} - 17,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , průměrná roční hodnota činila  $8,8\text{ }^{\circ}\text{C}$  [2].

### **3.10 Obsah rozpuštěného kyslíku**

V tocích kolísá obsah rozpuštěného kyslíku s měnící se teplotou vody. Jak už bylo zmíněno, koncentrace rozpuštěného kyslíku je nepřímo závislá na teplotě vody. Což bylo ověřeno několika výzkumy, např. Langhammer se zabýval vývinem fyzikálně chemických parametrů v povrchové vodě. Dle Langhammera v dlouhodobém průběhu obsah rozpuštěného kyslíku značně kolísá v nepřímé závislosti na teplotě, vzhledem k intenzivnější činnosti mikroorganismů, které spotřebovávají kyslík při rozkladných procesech. V podélném profilu toku se značně projevuje proměnlivost hodnot koncentrace rozpuštěného kyslíku. V podélném profilu toku se hodnoty koncentrace rozpuštěného kyslíku mění v místech aerace a vyúsťujícího znečištění. Místa aerace (provzdušňování) značí obvykle přítoky málo znečištěných toků, kde obsah rozpuštěného kyslíku ve vodě narůstá. Naopak v místech, kde vyúsťuje odpadní voda do daného recipientu, dochází

k poklesu obsahu rozpuštěného kyslíku v důsledku intenzivní spotřeby kyslíku na rozklad přitékajícího znečištění [1]; [2].

Kyslík je ve vodě spotřebován:

- Bakteriemi na rozklad: organických látek, amoniakálního a organického dusíku [2].
- Respiraci organismů [2].
- Dnovými sedimenty [2].

### 3.11 Hodnota pH

Hodnota pH je mimo jiné ukazatelé důležitou vlastností vody, sloužící k posuzování kvality vody ve vodním prostředí. „*pH lze definovat jako záporný dekadický logaritmus koncentrace vodíkových iontů*“ [2, s. 17]. V neznečištěném vodním toku, pH nabývá hodnot pohybujících se v rozmezí 4,5 – 8,3 u povrchových vod. U podzemních vod je rozmezí pohybujících se hodnot pH o něco menší a to 5,5 – 7,5 [1]; [2].

Hodnota pH se může měnit vzhledem k některým probíhajícím biologickým procesům, mezi něž patří např. fotosyntéza a denitrifikace způsobující zvýšení pH. Naopak ke snížení pH přispívá např. respirace a nitrifikace [1].

V letních měsících hodnoty pH v povrchových vodách nabývají zejména vysokých hodnot vzhledem k intenzivnějšímu procesu fotosyntézy. Příliš nízké nebo naopak vysoké hodnoty pH vykazují vůči vodním organismům značnou toxicitu [30].

Hodnota pH ovlivňuje:

- Fyziologické procesy [31]; [32].
- Výskyt forem amoniakálního dusíku – při pH nad 8 je podporována disociace  $\text{NH}_4^+$  na  $\text{NH}_3$  [1].
- Hromadění dusitanů - při pH přibližně vyšším než 9 [16].
- Enzymové reakce vodních organismů (neodehrávají se v zásaditém nebo kyselém prostředí) [31]; [32].

V recipientech může dojít vlivem vypouštěných odpadních vod k poklesu pH, což může vest k acidifikaci povrchových a podzemních vod v závislosti na míře a charakteru

OV, kyselých atmosférických depozic, splachu z polí a také na geologickém podloží (v místech s žulovým podložím je pH vody menší než 7) [2].

### 3.12 Konduktivita

Konduktivita u povrchové vody poukazuje na přibližnou koncentraci minerálních i organických elektrolytů, která pochází z obsahů solí organických kyselin a zásad [1]; [33].

Konduktivita v toku značně závisí na teplotě vody. Hodnota konduktivity se změní zhruba o 2% v důsledku změny teploty o 1°C. Hodnoty konduktivity se pohybují v rozmezí 5 až 50 mS/m u povrchových a podzemních vod [1].

Antropogenní zatížení se značně podílí na oscilaci hodnot konduktivity v toku. V průběhu disociace dochází k uvolňování kationtů a aniontů, jejichž přítomnost ve vodě zvyšuje obsah znečišťujících látek v toku. Značně vysoké hodnoty v toku jsou ukazatelem indikující velké množství rozpuštěných látek z antropogenního zatížení. Méně významným faktorem ovlivňujícím konduktivitu je aktuální vodnost toku [2].

### 3.13 Oxidačně – redukční potenciál (ORP)

Hodnotou ORP lze vyjádřit přítomnost oxidačních nebo redukčních látek v kapalině. Měření ORP spočívá ve vyjádření schopnosti částice oxidovat nebo redukovat jinou částici (molekulu, atom, iont). Interpretaci naměřených výsledků ovlivňuje mnoho faktorů, především teplota společně s hodnotou pH. V povrchových přírodních vodách je ORP dán ve většině případu obsahem rozpuštěného kyslíku. Pokud jsou ve vodě naměřeny kladné hodnoty, vystihují vodu jako oxidační kapalinu, naopak záporné hodnoty redukční kapalinu [1]; [34]; [35].

Z oxidačně redukčního potenciálu lze kvantitativně posoudit charakter vodního prostředí, dle uvedených hodnot v Tabulka 7. Prostředí může být aerobní, anoxické či anaerobní, dle koncentrace rozpuštěného kyslíku. V případě nízkých koncentrací rozpuštěného kyslíku přestává být kyslík převládajícím oxidačním činidlem a ORP je dán následnými oxidačně-redukčními systémy ( $\text{Fe}^{\text{II}}\text{-Fe}^{\text{III}}$ ,  $\text{Mn}^{\text{II}}\text{-Mn}^{\text{III}}$ ,  $\text{H}_2\text{S-SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CH}_4\text{-CO}_2$ ). V přírodních a povrchových vodách, ale i při biologickém čištění odpadních vod hodnota ORP nabývá hodnot od -500 do 500 mV [1]; [36].

**Tabulka 7: Hodnoty ORP charakterizující vodní prostředí [36]**

| Vodní prostředí | ORP [mV]  | Převládající reakce |
|-----------------|-----------|---------------------|
| aerobní         | > 250     | Oxidační            |
| anoxické        | 150 - 250 | Oxidační            |
| anaerobní       | < 150     | Redukční            |

## 4 METODY ZPRACOVÁNÍ

Hlavním cílem této práce bylo zhodnotit vývoj koncentrace vybraných parametrů v podélném profilu Hradišťského potoka jako důsledek znečištění odpadní vodou z MDČOV typu aktivace. K tomuto účelu byly provedeny pravidelné odběry vzorků vody z Hradišťského potoka, který se nachází v lokalitě Hradiště na území Těrlicka.

Odběrová místa v podélném profilu Hradišťského potoka byla vybrána na základě orientačně naměřených dat z bakalářské práce Klimša [30] z roku 2013.

Vybrané hodnocené fyzikálně – chemické parametry byly zvoleny na základě mé bakalářské práce Cielecká [16] v níž byly monitorovány hodnoty vybraných fyzikálně - chemických parametrů a to: v recipientu, v a na výtoku z MDČOV typu aktivace. Z výše uvedených bakalářské práce bylo zjištěno, že MDČOV založená na aktivačním procesu, výrazně přispívá ke zhoršení kvality vody v recipientu, jelikož hodnoty některých parametrů, a to konkrétně u amoniakálního dusíku byly na výtoku z MDČOV značně vysoké, což se projevilo na kvalitě vody v toku. Hodnoty v recipientu přesáhly přípustné znečištění povrchových vod u parametrů amoniakálního dusíku, celkového dusíku, biochemické spotřeby kyslíku, chemické spotřeby kyslíku a u celkového fosforu.

Sledování vývoje fyzikálně – chemických parametrů probíhalo v období říjen 2016 až září 2017. K tomuto účelu byly pravidelně odebírány vzorky povrchové vody z recipientu po dobu jednoho roku, celkem z 6 odběrových míst, které jsou uvedeny v kapitole 4.1. V terénu se měřily fyzikální parametry teplota, dále chemické parametry hodnota pH, oxidačně – redukční potenciál, konduktivita a rozpuštěný kyslík. V laboratoři se analyzovaly chemické parametry BSK<sub>5</sub>, CHSK<sub>Cr</sub>, N<sub>celk.</sub>, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> a P<sub>celk.</sub>

#### 4.1 Odběr vzorků

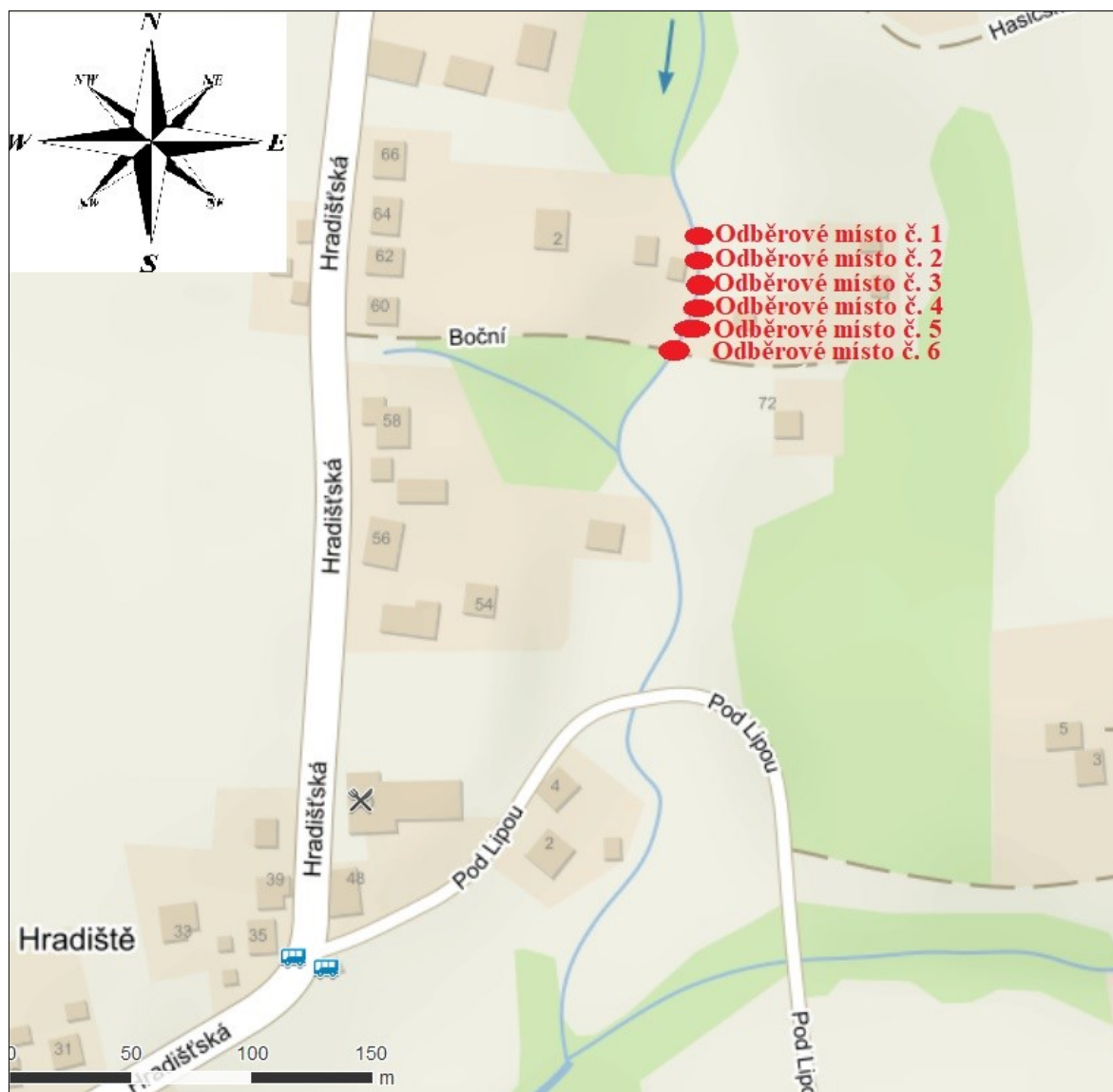
Vzhledem k tomu, že Hradištský potok slouží jako recipient pro OV z MDČOV, byly zvoleny odběry vzorků vod před a za výpustí OV z MDČOV, aby bylo zřetelně vidět, jak odpadní voda ovlivňuje kvalitu vody tohoto toku. Odběrová místa byla zvolena do 20 m pod MDČOV, aby bylo vidět, jak se vyvíjí koncentrace vybraných parametrů po dané délce toku a po kolika metrech se odbourá případné znečištění pocházející z odpadní vody z MDČOV typu aktivace. Větší vzdálenost od MDČOV nebyla zvolena z toho důvodu, že Hradištský potok směřoval pod most, kde byl znemožněn přístup a následně se mísil s odpadní vodou z jiné MDČOV.

Vzorky vody byly odebírány z každého odběrového místa v Hradištském potoce soustavně každý měsíc v období říjen 2016 až září 2017 do plastových nádob o objemu 1 litr (viz Příloha 1). Odběry byly provedeny podle normy ČSN EN ISO 5667-6 (757051) „Kvalita vod - Odběr vzorků - Část 6: Návod pro odběr vzorků z řek a potoků [37]“ z níže uvedených odběrových míst (viz Obrázek 1).

Odběrová místa:

- Odběrové místo č. 1 - 1 m nad výpustí OV z MDČOV
- Odběrové místo č. 2 - 1 m pod výpustí OV z MDČOV
- Odběrové místo č. 3 - 2 m pod výpustí OV z MDČOV
- Odběrové místo č. 4 - 5 m pod výpustí OV z MDČOV
- Odběrové místo č. 5 - 10 m pod výpustí OV z MDČOV
- Odběrové místo č. 6 - 20 m pod výpustí OV z MDČOV





Obrázek 1: Mapa s vyznačenými místy odběru [38]

Hodnocený úsek Hradišťského potoka je zobrazen na Obrázek 2 s vyznačeným odběrovým místem 5 m pod výpustí odpadní vody z MDČOV, které bylo z pravé strany obklopeno klestím a větvemi a na straně levé se nacházel lesní porost. O podál se nacházelo další odběrové místo 10 m pod výpustí OV z MDČOV a za ním následně bylo poslední odběrové místo 20 m pod výpustí.



**Obrázek 2: Odběrové místo č. 4 a č. 5 v Hradišťském potoce [Nikola Cielecká]**



Na Obrázek 3 jsou vyznačena odběrová místa 1 m a 2 m pod výtokem OV z MDČOV, v tomto úseku byl vodní tok nejplytčí, místy vyčnívalo kamenné až štěrkovité dno.



**Obrázek 3: Odběrové místo č. 2 a č. 3 v Hradištském potoce [Nikola Cielecká]**

Vyčištěná odpadní voda vtéká do recipientu přes 1m dlouhý svažitý terén z výpustě zobrazené na Obrázek 4.



**Obrázek 4: Výpust' odpadní vody z MDČOV typu aktivace [Nikola Cielecká]**

## 4.2 Metody analýzy vzorků

Některé fyzikálně – chemické parametry se měřily přímo v terénu pomocí přístroje YSI 6050000 Profesional Plus, a to teplota, pH, konduktivita, oxidačně – redukční potenciál a rozpuštěný kyslík. Odebrané vzorky vody byly následně v laboratoři podrobeny analýze, podle příslušných norem pro každé stanovení fyzikálně - chemického parametru.

### 4.2.1 Stanovení fyzikálně - chemických parametrů

Stanovení teploty se řídilo dle ČSN 75 7342 (757342) „Kvalita vod – Stanovení teploty“ [39].

Stanovení hodnoty pH se řídilo podle ČSN ISO 10523 (757365 „Jakost vod - Stanovení pH“ [40].

Stanovení konduktivity se řídilo dle ČSN EN 27888 (757342) „Jakost vod. Stanovení elektrické konduktivity“ [41].

Stanovení obsahu rozpuštěného kyslíku se řídilo podle ČSN EN ISO 5814 (757463) „Kvalita vod - Stanovení rozpuštěného kyslíku - Elektrochemická metoda s membránovou sondou“ [42].

Stanovení ORP se řídilo ČSN 75 7367 (757367) „Jakost vod – Stanovení oxidačně – redukčního potenciálu (ORP)“ [43].

Stanovení BSK<sub>5</sub> (Obrázek 5) se provádělo podle ČSN EN 1899-1 (757517) „Jakost vod -Stanovení biochemické spotřeby kyslíku po n dnech (BSKn) – Část 1: Zředovací metoda“ [44].



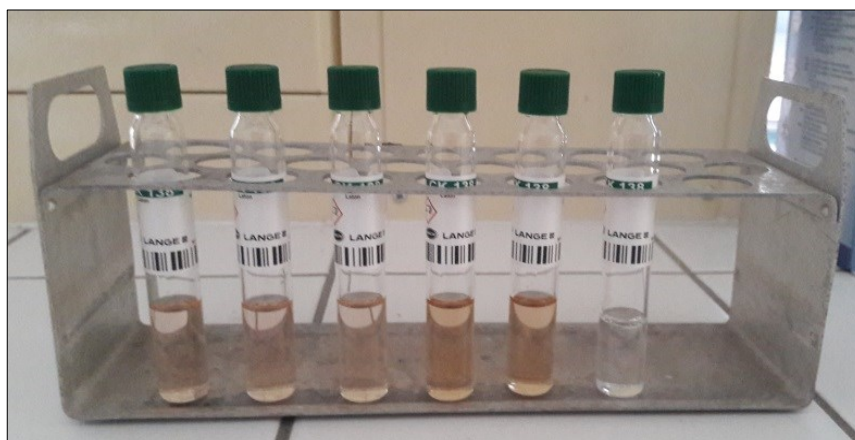
Obrázek 5: Stanovení BSK<sub>5</sub> [Nikola Cielecká]

Stanovení  $CHSK_{Cr}$  – bylo provedeno dle ČSN ISO 15705 (757521) „*Jakost vod – Stanovení chemické spotřeby kyslíku ( $CHSK_{Cr}$ ) – Metoda ve zkumavkách*“ [45]. K tomuto účelu byl použit spektrofotometr Aquamate spolu s thermoreaktorem TR 300 značky MERCK (viz Obrázek 6).



Obrázek 6: Thermoreaktor TR 300 [Nikola Cielecká]

Stanovení  $N_{celk}$  – se provádělo podle ČSN EN ISO 11905-1 (757527) „*Jakost vod – Stanovení dusíku. Část 1, Metoda oxidační mineralizace peroxodisíranem*“ [46]. Pomocí kyvetového testu LCK 138 (Obrázek 7) a k detekci hodnot byl použit spektrofotometr DR 6000 od firmy HACH LANGE.



Obrázek 7: Stanovení  $N_{celk}$ . [Nikola Cielecká]

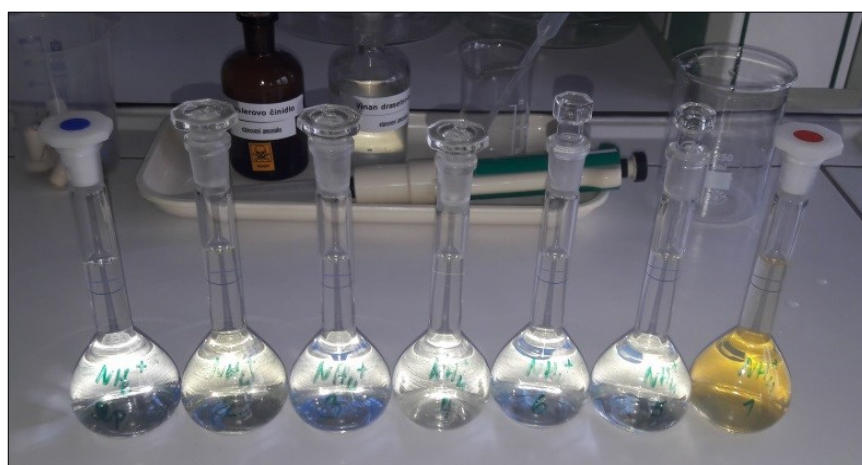


Stanovení  $P_{\text{celk}}$  – probíhalo podle ČSN EN ISO 6878 (757465) „*Jakost vod - Stanovení fosforu – Spektrofotometrická metoda s molybdenanem amonným*“ [47]. Pomocí kyvetového testu LCK 349 (Obrázek 8) a k samotné detekci hodnot sloužil spektrofotometr DR 6000 od firmy HACH LANGE.



Obrázek 8: Stanovení  $P_{\text{celk}}$ . [Nikola Cielecká]

Stanovení  $N-NH_4^+$  (Obrázek 9) - se řídilo podle ČSN ISO 7150-1 (757451) „*Jakost vod. Stanovení amonných iontů. Část 1: Manuální spektrometrická metoda*“ [48]. K detekci hodnot sloužil spektrofotometr DR 2800 značky HACH LANGE. Následně se naměřené hodnoty koncentrací amoniaku přepočítávají na amoniakální dusík podle vztahu:  $1 \text{ mg } NH_4^+ = 0,7765 \text{ mg } N-NH_4^+$ .



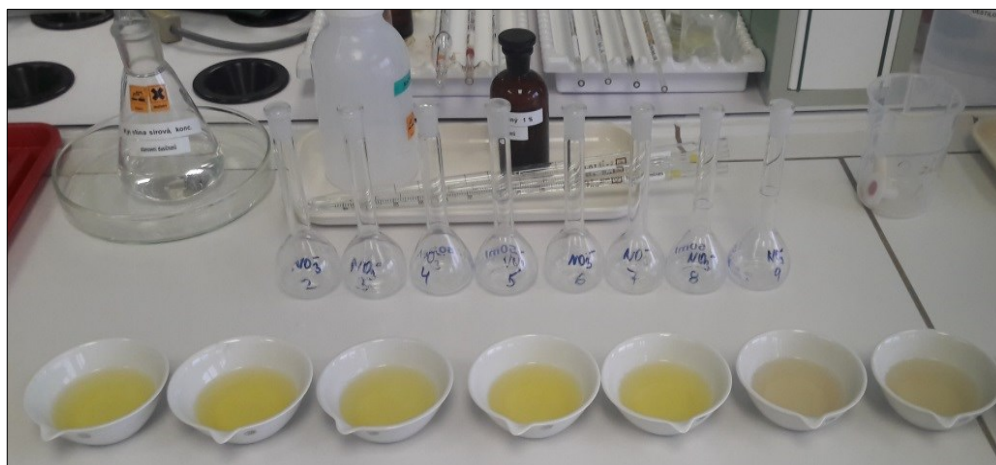
Obrázek 9: Stanovení  $N-NH_4^+$  [Nikola Cielecká]

Stanovení  $\text{N-NO}_2^-$  (Obrázek 10) probíhalo podle ČSN EN 26777 (757452) „*Jakost vod. Stanovení dusitanů. Molekulární absorpční spektrofotometrickou metodou (ISO 6777:1984)*“ [49]. K měření hodnot byl použit spektrofotometr DR 2800 od firmy HACH LANGE. Následně se naměřené hodnoty koncentrací dusitanů přepočítávají na dusitanový dusík podle vztahu:  $1 \text{ mg NO}_2^- = 0,3045 \text{ mg N-NO}_2^-$ .



Obrázek 10: Stanovení  $\text{N-NO}_2^-$  [Nikola Cielecká]

Stanovení  $\text{N-NO}_3^-$  (Obrázek 11) se řídilo ČSN ISO 7890-3 (757453) „*Jakost vod. Stanovení dusičnanů. Část 3: Spektrometrická metoda s kyselinou sulfosalicylovou*“ [50]. Výsledné hodnoty byly detekovány pomocí spektrofotometru DR 2800 od firmy HACH LANGE. Následně se naměřené hodnoty koncentrací přepočítávají na dusičnanový dusík podle vztahu:  $1 \text{ mg NO}_3^- = 0,2259 \text{ mg N-NO}_3^-$ .



Obrázek 11: Stanovení  $\text{N-NO}_3^-$  [Nikola Cielecká]

### 4.3 Metodika hodnocení

V první řadě se výsledné hodnoty analyzovaných fyzikálně – chemických parametrů vynesly do grafů a zprůměrované hodnoty vybraných parametrů za sledované období říjen 2016 až září 2017 se porovnaly s hodnotami přípustného znečištění povrchových vod (dle NV. č. 401/2015 Sb., „o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech“). Přehledně jsou hodnotící parametry a jejich limitní hodnoty podle přípustného znečištění povrchových vod uvedeny v Tabulka 8.

Tabulka 8: Vybrané ukazatelé a hodnoty přípustného znečištění povrchových vod [20].

| Ukazatel                     | Zkratka                        | Jednotka | Limit (roční průměr) |
|------------------------------|--------------------------------|----------|----------------------|
| Nasycení vody kyslíkem       | O <sub>2</sub>                 | mg/L     | >9                   |
| Reakce vody                  | pH                             | mg/L     | 5 až 9               |
| Teplota                      | t                              | °C       | 29                   |
| Celkový fosfor               | P <sub>celk.</sub>             | mg/L     | 0,15                 |
| Celkový dusík                | N <sub>celk.</sub>             | mg/L     | 6                    |
| Amoniakální dusík            | N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | mg/L     | 0,23                 |
| Dusičnanový dusík            | N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | mg/L     | 5,4                  |
| Biochemická spotřeba kyslíku | BSK <sub>5</sub>               | mg/L     | 3,8                  |
| Chemická spotřeba kyslíku    | CHSK <sub>Cr</sub>             | mg/L     | 26                   |



Dále byla voda v jednotlivých místech Hradištského potoka zařazena do třídy jakosti vod podle ČSN 75 7221 „Kvalita vod – Klasifikace kvality povrchových vod“. Hodnoty byly seřazeny vzestupně kromě rozpuštěného kyslíku, u něj se hodnoty seřadily sestupně a následně se podle předposlední hodnoty zařadilo hodnocené místo v recipientu do třídy kvality vod. V ČR je uvedeno celkem 5 tříd kvality pro povrchové tekoucí vody viz Tabulka 9.

Tabulka 9: Třídy kvality vod, dle vybraných ukazatelů [51]

| UKAZATEL                     | JEDNOTKA | TŘÍDY  |        |        |       |       |
|------------------------------|----------|--------|--------|--------|-------|-------|
|                              |          | I      | II     | III    | IV    | V     |
| Biochemická spotřeba kyslíku | mg/L     | < 2    | < 4    | < 8    | < 15  | ≥ 15  |
| Chemická spotřeba kyslíku    | mg/L     | < 15   | < 25   | < 45   | < 60  | ≥ 60  |
| Rozpuštěný kyslík            | mg/L     | > 8,5  | > 7,5  | > 6    | > 4   | ≤ 4   |
| Elektrolytická konduktivita  | mS/m     | < 40   | < 70   | < 110  | < 160 | ≥ 160 |
| Amoniakální dusík            | mg/L     | < 0,2  | < 0,4  | < 0,8  | < 1,6 | ≥ 1,6 |
| Dusitanový dusík             | mg/L     | < 0,05 | < 0,15 | < 0,25 | < 0,4 | ≥ 0,4 |
| Dusičnanový dusík            | mg/L     | < 2,5  | < 5    | < 8    | < 12  | ≥ 12  |
| Celkový dusík                | mg/L     | < 3    | < 6    | < 10   | < 14  | ≥ 14  |
| Celkový fosfor               | mg/L     | < 0,05 | < 0,15 | < 0,3  | < 0,6 | ≥ 0,6 |

Třídy kvality vod:

I. třída – označuje vodu jak neznečištěnou [51].

II. třída – označuje vodu jako mírně znečištěnou [51].

III. třída – označuje vodu jako znečištěnou [51].

IV. třída – označuje vodu jako silně znečištěnou [51].

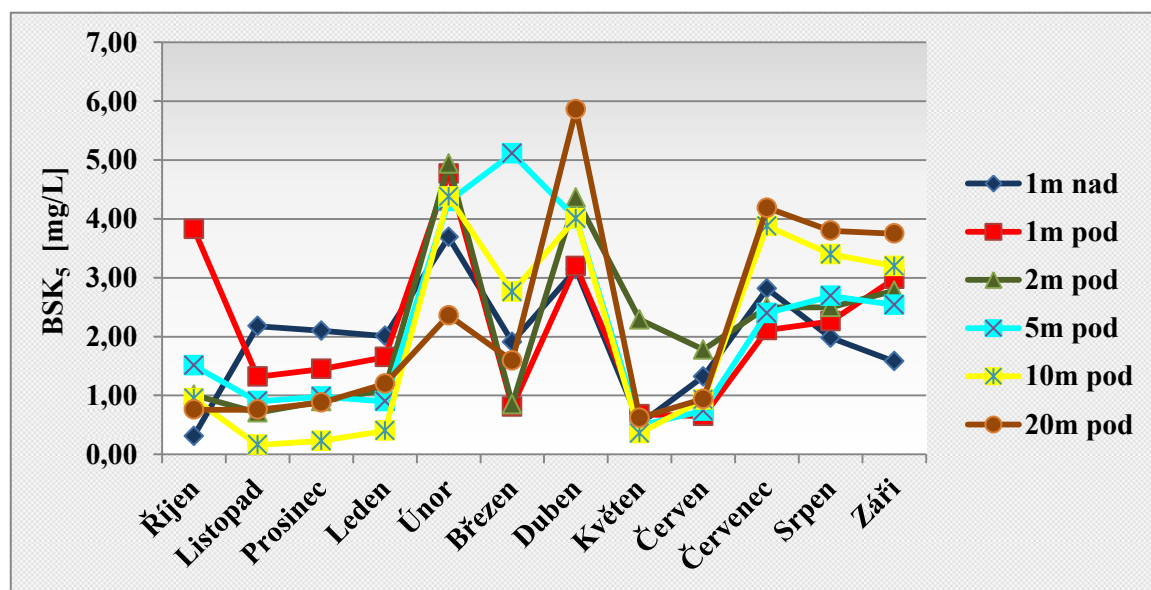
V. třída – označuje vodu jako velmi silně znečištěnou [51].

## 5 VÝSLEDKY A DISKUZE

V této kapitole jsou uvedeny výsledky analýz povrchové vody z Hradišťského potoka, které byly naměřeny v období říjen 2016 až září 2017.

### 5.1 Biochemická spotřeba kyslíku (BSK<sub>5</sub>)

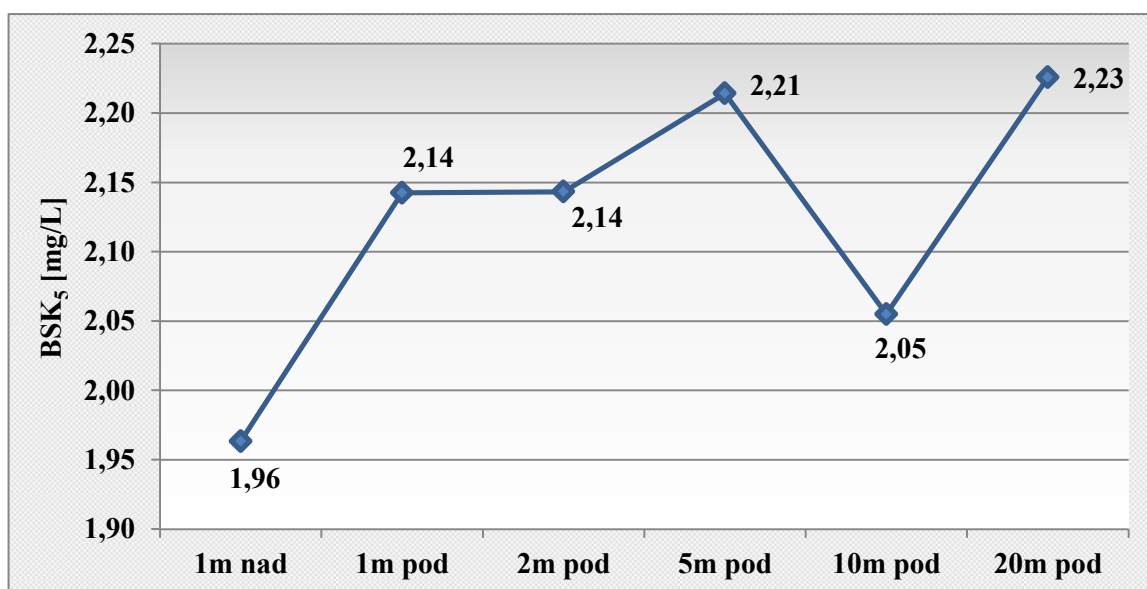
V podélném profilu recipientu během roku hodnoty BSK<sub>5</sub> oscilovaly v jednotlivých měsících u všech odběrových míst (viz Graf 1). V období říjen 2016 – leden 2017 se hodnoty BSK<sub>5</sub> pohybovaly v rozmezí 0,16 – 3,83 mg/L. Od února do dubna se hodnoty markantně zvýšily, pohybovaly se v rozmezí 0,40 – 5,86 mg/L. V květnu došlo k prudkému poklesu hodnot a tento stav se udržoval i v měsíci červnu (rozmezí hodnot 0,36 – 2,29 mg/L). V letním období červenec – září se hodnoty poměrně ustálily (1,58 – 4,19 mg/L).



Graf 1: Vývoj koncentrací BSK<sub>5</sub> v podélném profilu Hradišťského potoka (říjen 2016 – září 2017)

Z průměrných ročních hodnot (viz Graf 2) lze vidět, že se koncentrace BSK<sub>5</sub> zpravidla zvyšovala pod výpustí z MDČOV, avšak od tohoto místa byly hodnoty BSK<sub>5</sub> téměř ustálené. Nejvyšší průměrná hodnota koncentrace BSK<sub>5</sub> činila 2,23 mg/L v posledním sledovaném místě. Především je z (Graf 2) vidět, že nedochází k výraznému poklesu hodnot BSK<sub>5</sub> ani po 20 m od výtoku z MDČOV a roční průměrné hodnoty tohoto parametru jsou po celou dobu ročního sledování více méně konstantní.

Průměrné hodnoty BSK<sub>5</sub> v Hradištském potoce nepřekročily limitní hodnotu 3,8 mg/L, dle přípustného znečištění povrchových vod ani v jednom odběrovém místě. Hodnoty ukazují na přítomnost snadno biologicky rozložitelných organických látek vyskytujících se v recipientu [1].



Graf 2: Průměrné roční hodnoty BSK<sub>5</sub> v podélném profilu Hradištského potoka

Z Tabulka 10 jde vidět, že první dvě odběrová místa se řadí do II. třídy a ostatní do III. třídy kvality vody, což vypovídá o zhoršení kvality vody v toku. Jelikož se voda v 1 m pod výpustí z čistírny zařadila dle parametru BSK<sub>5</sub> do II. třídy kvality vody a až odběrové místo 2 m pod výpustí do III. třídy, nelze znečištění MDČOV v tomto případě považovat za markantní.

Tabulka 10: Třídy kvality vody dle BSK<sub>5</sub> v Hradištském potoce (říjen 2016 – září 2017)

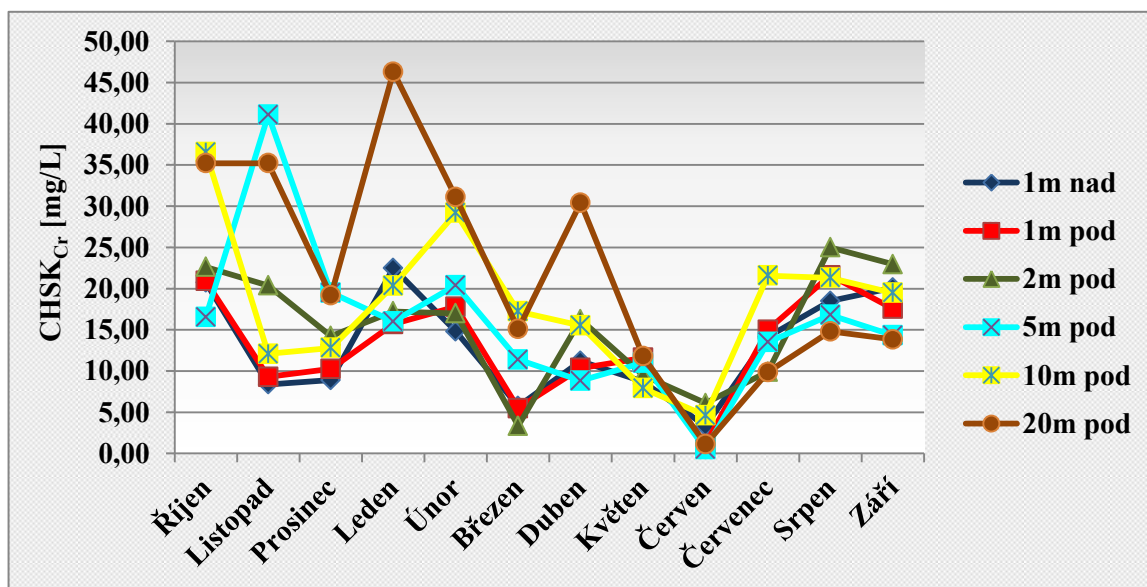
| BSK <sub>5</sub> | 1m nad | 1m pod | 2m pod | 5m pod | 10m pod | 20m pod |
|------------------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| Třída kvality    | II     | II     | III    | III    | III     | III     |

Po srovnání vývinu koncentrace  $BSK_5$  v podélném profilu Hradišťského potoka s řekou Vltavou uvádí Langhammer [2], že se hodnoty  $BSK_5$  v podélném profilu snižují s rostoucí vodností toku. Vzhledem k nízké kapacitě toku v Hradišťském potoce ke snížení hodnot koncentrace  $BSK_5$  v podélném profilu Hradišťského potoka nedošlo.

Výsledné hodnoty  $BSK_5$  v bezejmenném potoce v Ostravě Radvanicích byly o poznání horší a bylo přesaženo přípustné znečištění povrchových vod. Z hlediska kvality vody byl bezejmenný tok zařazen do IV. třídy tehdejší jakosti vod [16]. Tento potok byl monitorován v mé bakalářské práci Cielecká [16].

## 5.2 Chemická spotřeba kyslíku ( $CHSK_{Cr}$ )

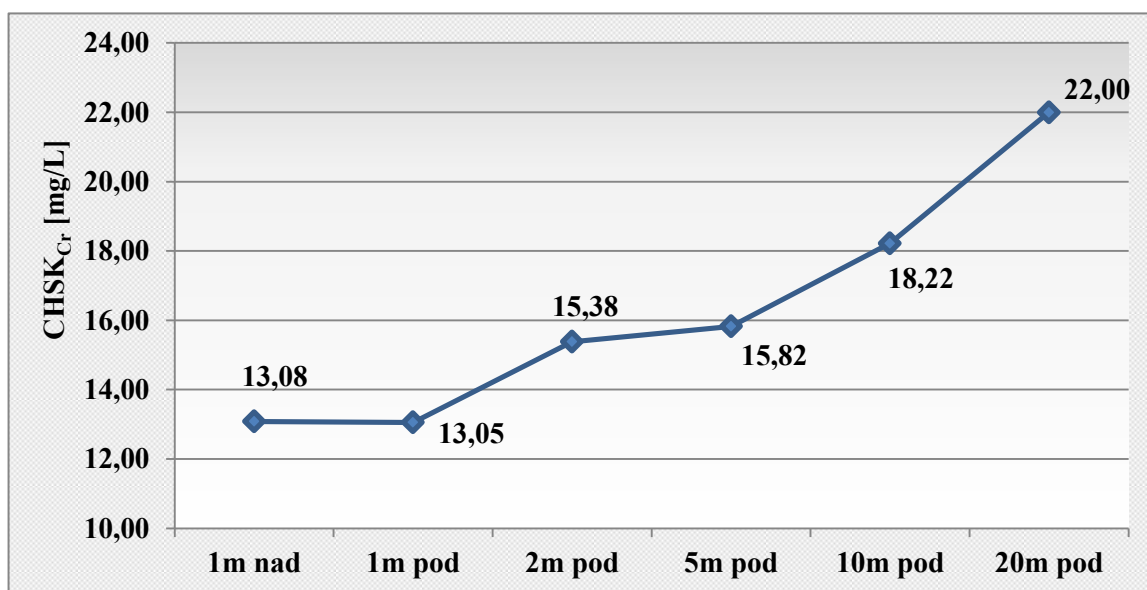
Ke stanovení  $CHSK$  byla použita dichromanová metoda, protože se předpokládalo vysoké znečištění recipientu organickými látkami v důsledku znečištění OV z MDCOV. Koncentrace  $CHSK_{Cr}$  nabývala v prvních čtyřech odběrových místech podobných hodnot s výjimkou čtvrtého odběrového místa 5 m pod MDCOV v listopadu, kdy se hodnota vychýlila k 41,09 mg/L. Z Graf 3 jsou zřetelně vidět nejvyšší hodnoty koncentrací  $CHSK_{Cr}$  v místě 20 m pod výpustí z MDCOV typu aktivace a to především v období od října 2016 do května 2017, poté došlo k poklesu hodnot a naopak zde byly koncentrace  $CHSK_{Cr}$  nejnižší oproti ostatním odběrovým místům.



Graf 3: Vývoj koncentrací  $CHSK_{Cr}$  v podélném profilu Hradišťského potoka (říjen 2016 – září 2017)

V Hradištském potoce se projevil postupný nárůst průměrných ročních koncentrací  $\text{CHSK}_{\text{Cr}}$  v jeho podélném profilu viz Graf 4. Průměrné roční hodnoty se pohybovaly v rozmezí 13,05 – 22 mg/L a nepřesáhly tak přípustné znečištění povrchových vod 26 mg/L.

Vzhledem k nízké vodnosti toku nedocházelo k ředění ani u tohoto znečištění. Výraznější pokles koncentrací  $\text{CHSK}_{\text{Cr}}$  se v podélném profilu toku projevuje dle Langhammera [2] v lokalitách s výrazným průtokem a po několika kilometrech.



Graf 4: Vývoj koncentrací  $\text{CHSK}_{\text{Cr}}$  v podélném profilu Hradištského potoka

Z dosažených hodnot lze Hradištský potok považovat v prvních čtyřech odběrových místech za mírně znečištěný, jelikož se v těchto místech kvalita vody řadí do II. třídy kvality vod podle ČSN 75 7221. V posledních dvou odběrových místech 10 m a 20 m pod výtokem z MDČOV byla voda zařazena do III. třídy jako voda znečištěná (viz Tabulka 11).

Bezejmenný potok v Ostravě Radvanicích byl o poznání více zatížen koncentracemi  $\text{CHSK}_{\text{Cr}}$ , protože se řadil až do V. třídy tehdejší jakosti vody. Hodnota přípustného znečištění pro povrchové vody byla překročena na rozdíl od Hradištského potoka, kde tomu tak nebylo [16].

Tabulka 11: Třídy kvality vody dle  $\text{CHSK}_{\text{Cr}}$  v Hradištském potoce (říjen 2016 – září 2017)

| $\text{CHSK}_{\text{Cr}}$ | 1m nad | 1m pod | 2m pod | 5m pod | 10m pod | 20m pod |
|---------------------------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| Třída kvality             | II     | II     | II     | II     | III     | III     |

### 5.3 Poměr BSK<sub>5</sub> : CHSK<sub>Cr</sub>

Poměr BSK<sub>5</sub>:CHSK<sub>Cr</sub> jednotlivých odběrových míst za sledované období říjen 2016 až září 2017 je uveden v Tabulka 12. Kde modře vyznačené hodnoty (celkem 25) charakterizují vodu jako čistou povrchovou, jelikož je pro tyto vody typický poměr nižší než 0,1. Žlutě jsou vyznačeny hodnoty v rozmezí od 0,1 do 0,29, proto tyto jednotlivá místa odpovídají biologicky vyčištěným odpadním vodám, které jsou charakteristické poměrem 0,1 – 0,2.

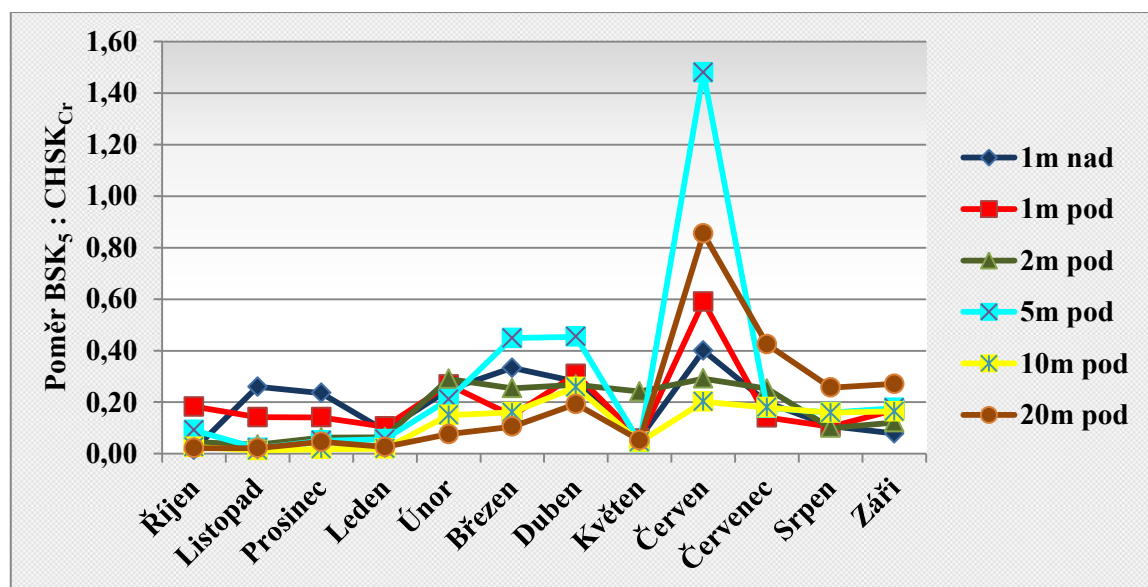
Celkem 38 vzorků povrchové vody z podélného profilu odpovídalo svou hodnotou poměru biologicky vyčištěným odpadním vodám, z toho 15 vzorků mírně překročilo charakteristické rozmezí tohoto poměru a to maximálně o 0,08. Šest zeleně zvýrazněných hodnot v rozmezí od 0,33 do 0,45 odpovídá poměru blížíci se odpadní vodě. Nejvyšší obsah biologicky snadno rozložitelných látek ve vodě byl zaznamenán v červnu 2017 a to v druhém (1 m pod MDČOV), čtvrtém (5 m pod MDČOV) a šestém odběrovém místě (20 m pod MDČOV), protože zde byl poměr BSK<sub>5</sub> : CHSK<sub>Cr</sub> za sledované období největší a dosahoval hodnot od 0,59 do 1,48.

Tabulka 12: Poměr BSK<sub>5</sub>:CHSK<sub>Cr</sub> (říjen 2016 – září 2017)

| Měsíc    | Poměr BSK <sub>5</sub> :CHSK <sub>Cr</sub> |        |        |        |         |         |
|----------|--|--------|--------|--------|---------|---------|
|          | 1m nad                                     | 1m pod | 2m pod | 5m pod | 10m pod | 20m pod |
| Říjen    | 0,01                                       | 0,18   | 0,04   | 0,09   | 0,03    | 0,02    |
| Listopad | 0,26                                       | 0,14   | 0,03   | 0,02   | 0,01    | 0,02    |
| Prosinec | 0,24                                       | 0,14   | 0,06   | 0,05   | 0,02    | 0,05    |
| Leden    | 0,09                                       | 0,11   | 0,06   | 0,06   | 0,02    | 0,03    |
| Únor     | 0,25                                       | 0,27   | 0,29   | 0,21   | 0,15    | 0,08    |
| Březen   | 0,33                                       | 0,15   | 0,25   | 0,45   | 0,16    | 0,11    |
| Duben    | 0,28                                       | 0,31   | 0,27   | 0,45   | 0,26    | 0,19    |
| Květen   | 0,06                                       | 0,06   | 0,24   | 0,04   | 0,05    | 0,05    |
| Červen   | 0,40                                       | 0,59   | 0,29   | 1,48   | 0,20    | 0,85    |
| Červenec | 0,20                                       | 0,14   | 0,25   | 0,18   | 0,18    | 0,42    |
| Srpen    | 0,11                                       | 0,10   | 0,10   | 0,16   | 0,16    | 0,26    |
| Září     | 0,08                                       | 0,17   | 0,12   | 0,18   | 0,16    | 0,27    |

Podle Langhammera [2] je zřejmý pokles poměru  $BSK_5 : CHSK_{Cr}$  v podélném profilu směrem po toku. Langhammerovo tvrzení se v Hradišťském potoce téměř nepotvrdilo, jelikož hodnoty poměru byly v jednotlivých měsících proměnlivé. Z Tabulka 12 lze vidět, že v některých měsících hodnoty poměru  $BSK_5 : CHSK_{Cr}$  v podélném toku klesají, jindy rostou a jindy se skoro vůbec nezměnily. V porovnání s hodnotami v mé bakalářské práci byly hodnoty tohoto poměru obdobné jako v bezejmenném přítoku Lučiny, do kterého také ústila odpadní voda z MDČOV, ale v červenci byl poměr výrazně nižší.

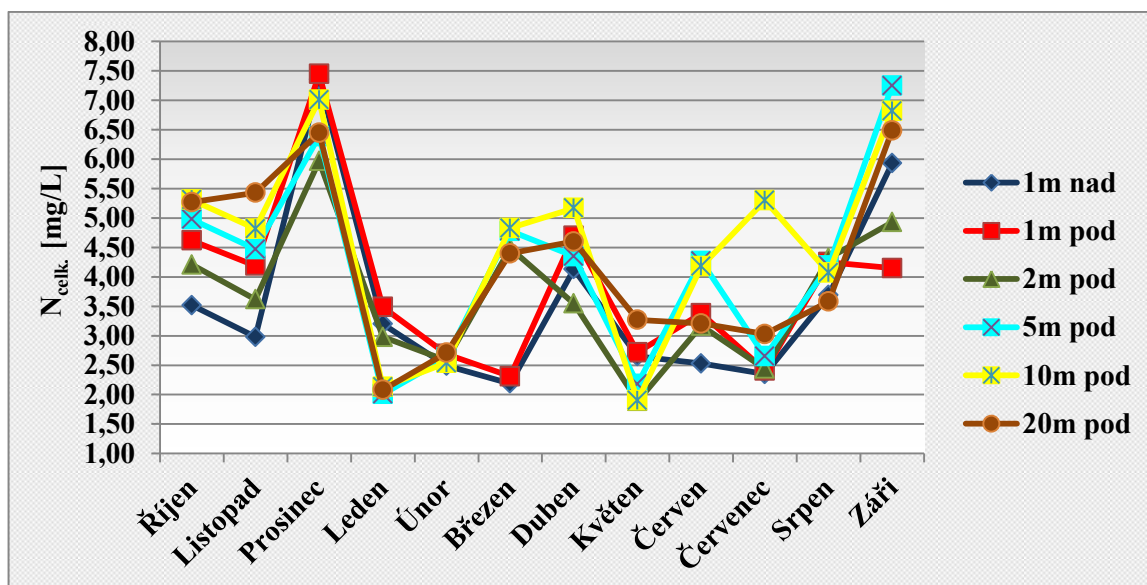
Poměr  $BSK_5:CHSK_{Cr}$  je i graficky znázorněny na Graf 5, z kterého lze pozorovat anomálii projevenou 5 m pod výtokem z MDČOV.



Graf 5: Poměr  $BSK_5:CHSK_{Cr}$  (říjen 2016 – září 2017)

#### 5.4 Celkový dusík ( $N_{celk}$ )

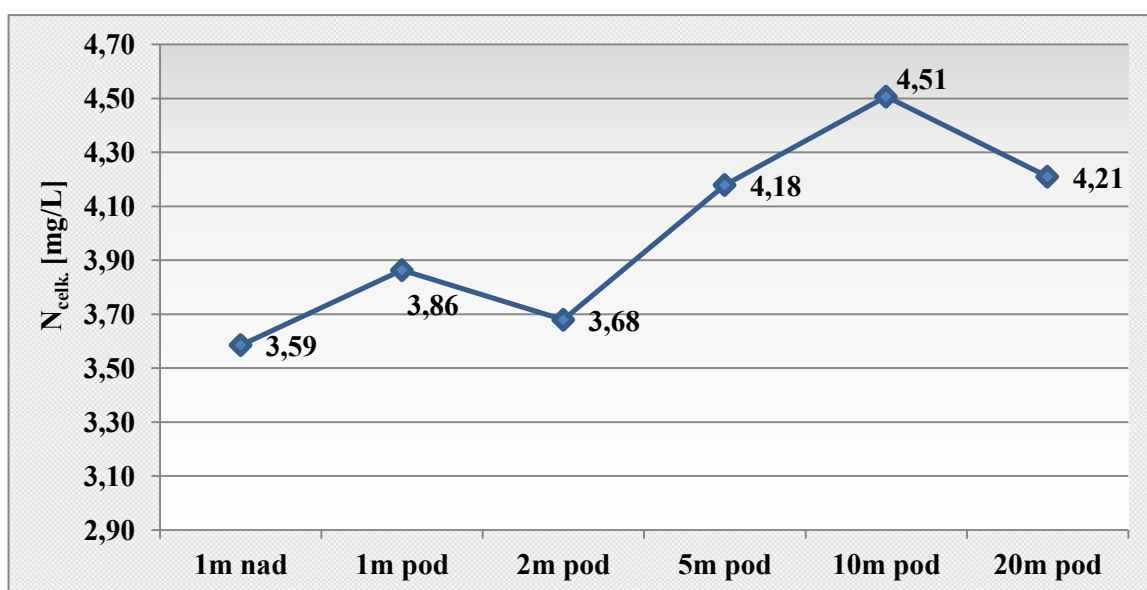
Z Graf 6 je výrazná oscilace koncentrací celkového dusíku v průběhu celého sledovaného období od října 2016 až po září 2017 ve všech profilech. U druhého odběrového místa (1 m pod MDČOV) se prokázalo ovlivnění recipientu OV z MDČOV vzhledem k narůstajícím koncentracím  $N_{celk}$ . v tomto místě oproti koncentracím v místě před vtokem odpadní vody. Nejvyšší hodnota byla naměřena v prosinci 2016 pod výpustí odpadní vody a to 7,50 mg/L v tomto měsíci byly hodnoty  $N_{celk}$  ve všech odběrových místech nejvyšší.



Graf 6: Vývoj koncentrací  $N_{celk}$  v podélném profilu Hradišťského potoka (říjen 2016 – září 2017)

Průměrné roční hodnoty koncentrací  $N_{celk}$  v podélném profilu Hradišťského potoka v průběhu sledovaného období dosahovaly 3,56 – 4,51 mg/L (viz Graf 7). Naměřené hodnoty  $N_{celk}$  nepřesáhly přípustné znečištění povrchových vod, které činí 6 mg/L. Naopak v bezejmenném recipientu bylo přípustné znečištění povrchových vod překročeno [16].

Množství celkového dusíku v podélném profilu roste, nejvyšší průměrná koncentrace byla naměřena v pátém odměrovém místě (10 m pod MDČOV), což je o 0,92 mg/L více oproti prvnímu odběrovému místu nad MDČOV.



Graf 7: Průměrné roční hodnoty  $N_{celk}$  v podélném profilu Hradišťského potoka



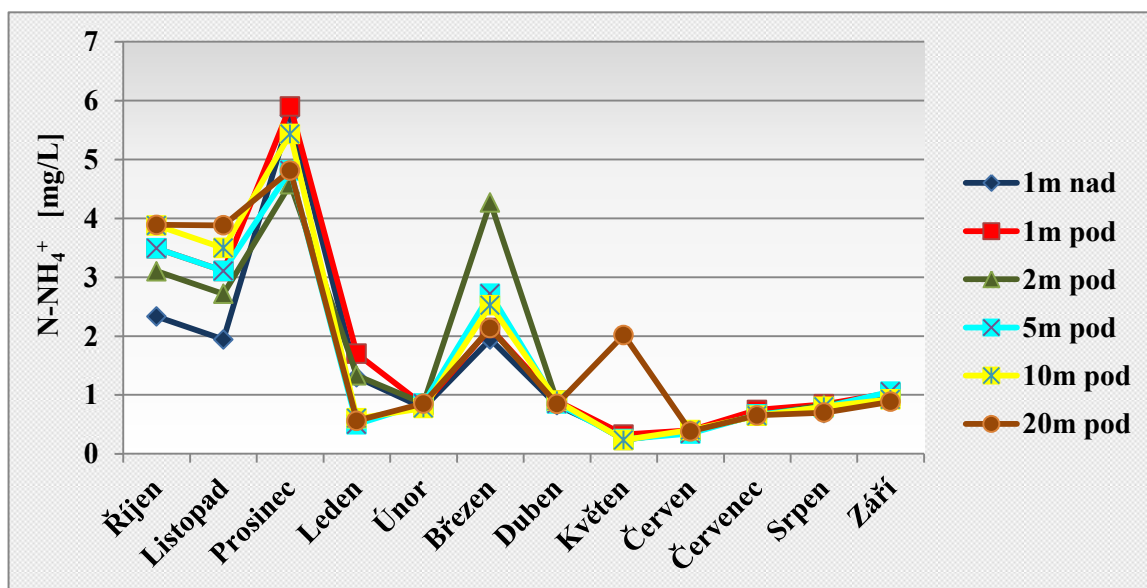
Podle ČSN 75 7221 byl podélný profil zařazen dle ukazatele celkového dusíku do II. třídy kvality vody (Tabulka 13). Do stejné třídy se řadil i bezejmenný potok v Ostravě Radvanicích [16].

Tabulka 13: Třídy kvality vody dle  $N_{celk.}$  v Hradištském potoce (říjen 2016 – září 2017)

| $N_{celk.}$   | 1m nad | 1m pod | 2m pod | 5m pod | 10m pod | 20m pod |
|---------------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| Třída kvality | II     | II     | II     | II     | II      | II      |

## 5.5 Amoniakální dusík ( $N-NH_4^+$ )

Dlouhodobý chod koncentrací  $N-NH_4^+$  v podélném profilu Hradištského potoka je znázorněn na Graf 8. Z první poloviny sledovaného období od měsíce říjen 2016 až po březen 2017 koncentrace  $N-NH_4^+$  kolísaly, největší vychýlení hodnot nastalo v prosinci, kdy byly naměřeny nejvyšší koncentrace ve všech odběrových místech. V dubnu 2017 došlo k poklesu hodnot ve všech odběrových místech a tento stav se udržoval do září 2017.

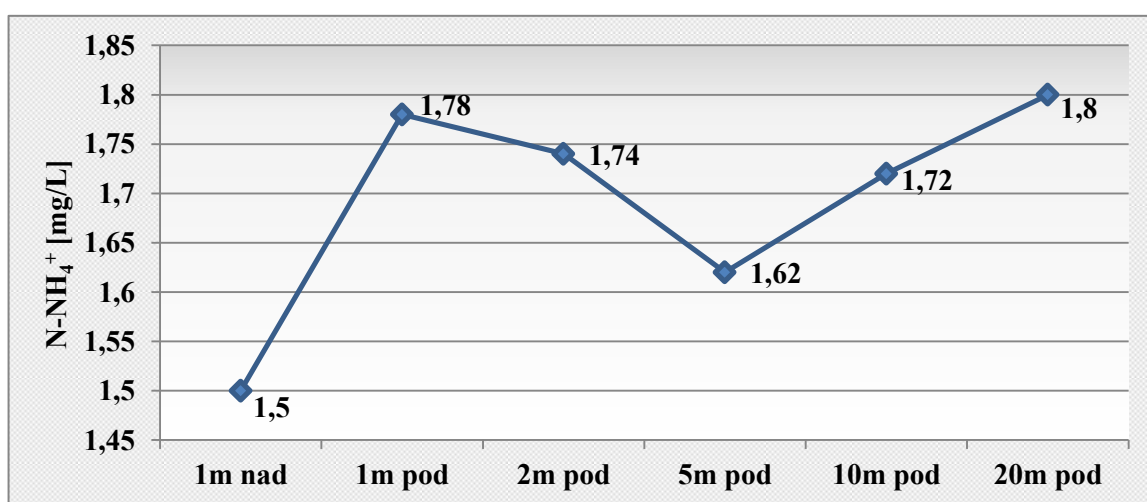


Graf 8: Vývoj koncentrací  $N-NH_4^+$  v podélném profilu Hradištského potoka (říjen 2016 – září 2017)

Graf 9 udává vývoj průměrných ročních koncentrací  $N-NH_4^+$  v podélném profilu Hradištského potoka. Výrazné místo nárůstu  $N-NH_4^+$  odpovídá místu 1 m pod výpustí odpadní vody z MDČOV. Od zmíněného odběrového místa 1 m pod čistírnou se hodnoty příliš výrazně nelišily až po poslední analyzované odběrové místo. Hodnoty se pohybovaly v rozmezí od 1,62 po 1,8 mg/L. Proces samočištění se v recipientu zjevně příliš neprojevil, hodnoty amoniakálního dusíku klesly pod výpustí odpadní vody ve třetím odběrovém

místě (2 m pod MDČOV) a pátém odběrovém místě (10 m pod MDČOV) pouze o setiny a ve čtvrtém odběrovém místě (5 m pod MDČOV) o desetiny mg/L.

Přípustné znečištěním povrchových vod pro amoniakální dusík, které činí 0,23 mg/L bylo přesáhnuto ve všech odběrových místech a to až 7,8 krát. Vysoké koncentrace amoniakálního dusíku, které byly naměřeny po celé délce toku i v místě 1 m nad výtokem OV z MDČOV jsou s velkou pravděpodobností způsobeny jinými bodovými zdroji znečištění, které se na toku nacházejí. Na ovlivnění kvality vody v potoce se může podílet i intenzivní zemědělská činnost, která se v okolí toku nachází (zemědělsky obhospodařovaná pole, chov skotu).



Graf 9: Průměrné roční hodnoty N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> v podélném profilu Hradišťského potoka

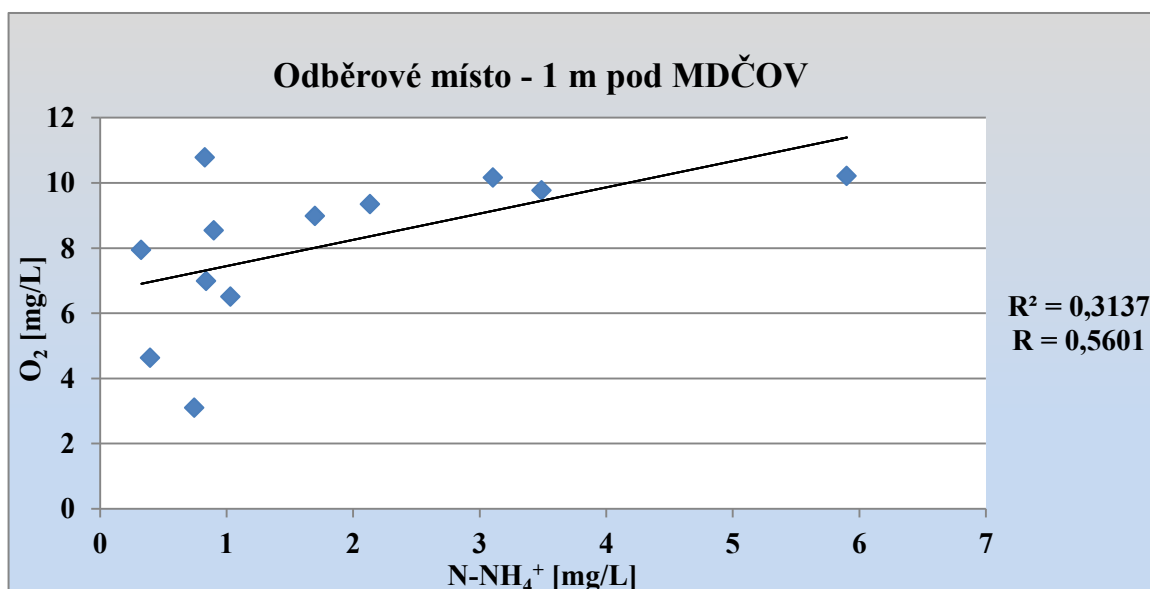
Koncentrace v recipientu jsou ve všech hodnocených profilech natolik vysoké, že lze charakterizovat vodu v Hradišťském potoce jako velmi silně znečištěnou řadící se do V. třídy kvality vody viz Tabulka 14. Podle Cielecké [16] byl bezejmenný potok v Ostravě Radvanicích zatížen amoniakálním dusíkem o něco méně, jelikož se řadil do IV. třídy tehdejší jakosti vod. Avšak koncentrace N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> byly v bezejmenném potoce také natolik vysoké, že překročily přípustné znečištění povrchových vod [16].

V tak malém toku se téměř neprojevil rozklad amoniakálního dusíku, jak tomu bylo na řece Labi v Langhammerově studii [2], kde byl hodnocen několikanásobně delší tok s větší vodností.

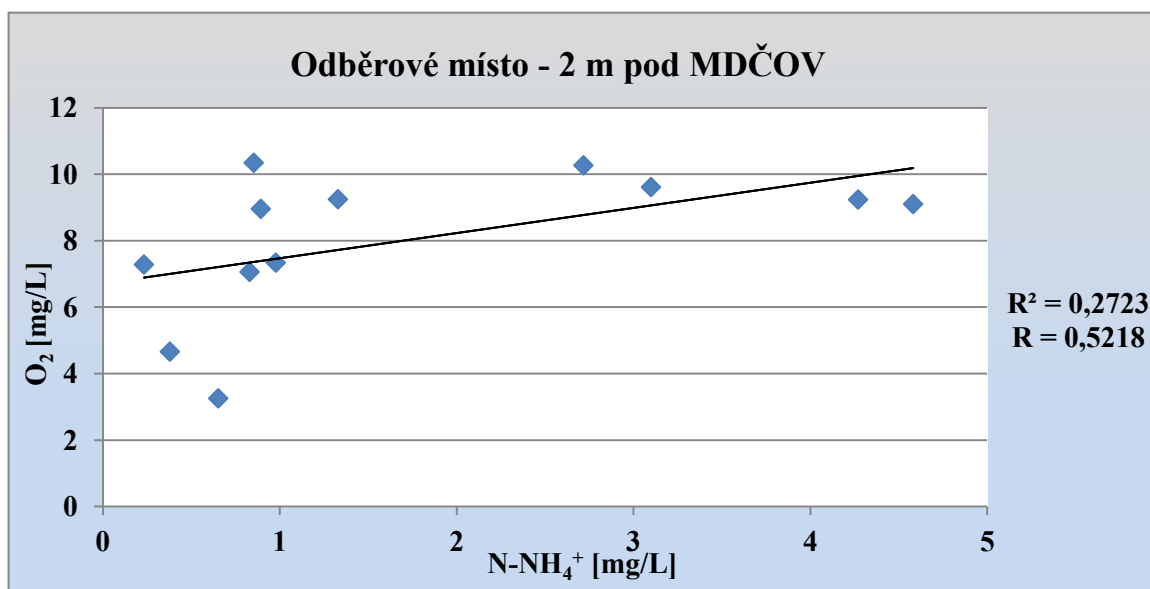
Tabulka 14: Třídy kvality vody dle N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> v Hradišťském potoce (říjen 2016 – září 2017)

| N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | 1m nad | 1m pod | 2m pod | 5m pod | 10m pod | 20m pod |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| Třída kvality                  | V      | V      | V      | V      | V       | V       |

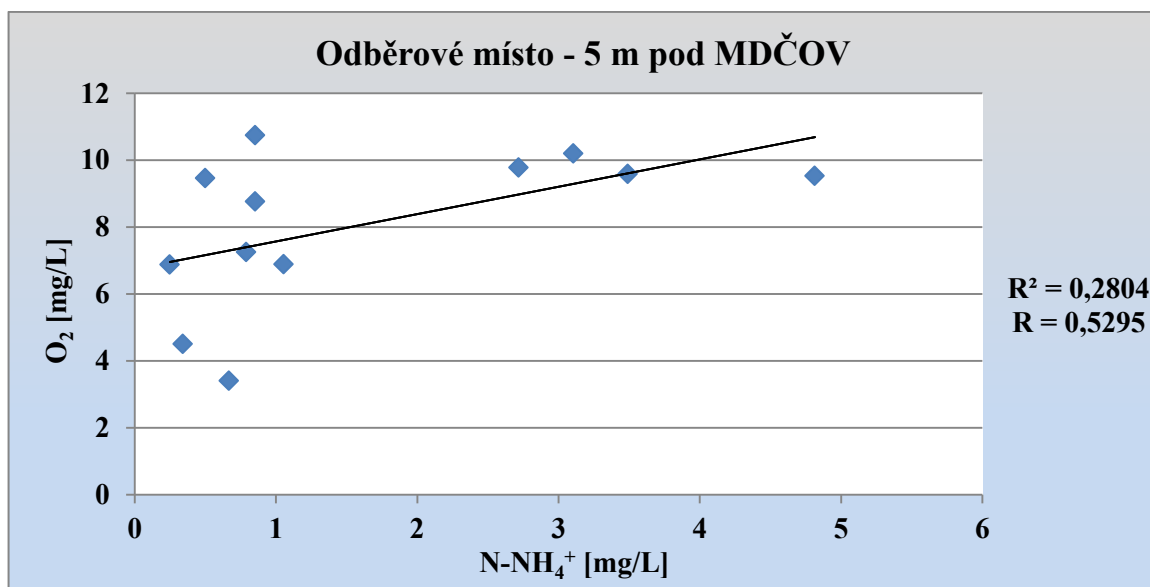
Po provedení korelační analýzy byla zjištěna pravděpodobná závislost amoniakálního dusíku na kyslíku ve čtyřech odběrových místech za sledovaný rok. Tyto závislosti jsou znázorněny na Graf 10, Graf 11, Graf 12 a Graf 13, kde index korelace dosahoval hodnot 0,5601, 0,5218, 0,5295 a 0,5151, což je ale na hranici statistické významnosti.



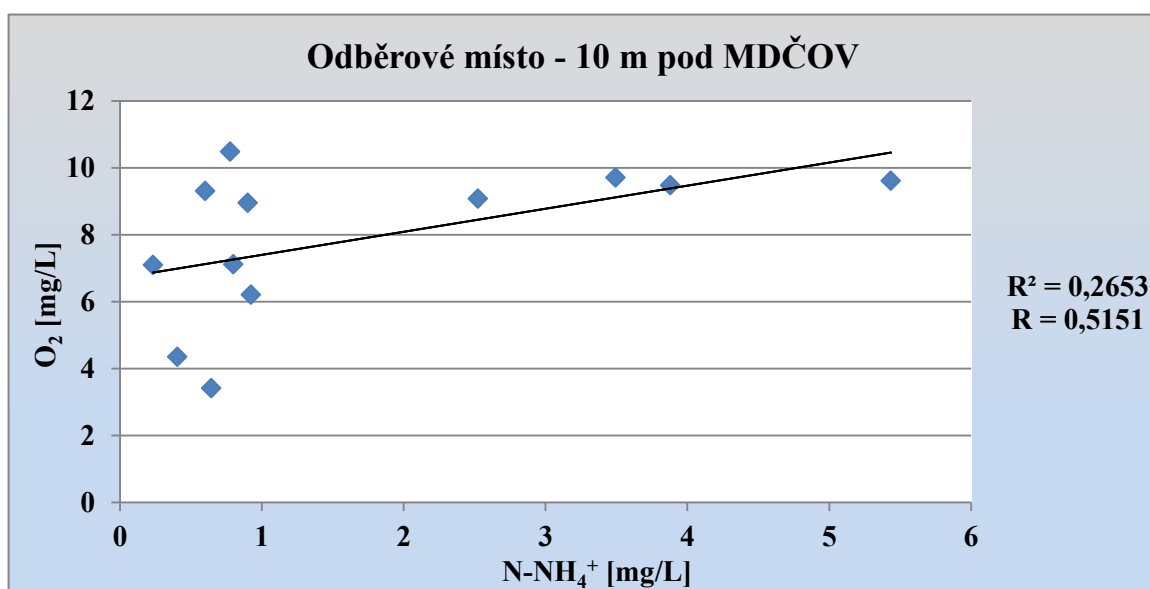
Graf 10: Závislost  $N-NH_4^+$  na  $O_2$  v Hradišťském potoce (říjen 2016 – září 2017)



Graf 11: Závislost  $N-NH_4^+$  na  $O_2$  v Hradišťském potoce (říjen 2016 – září 2017)

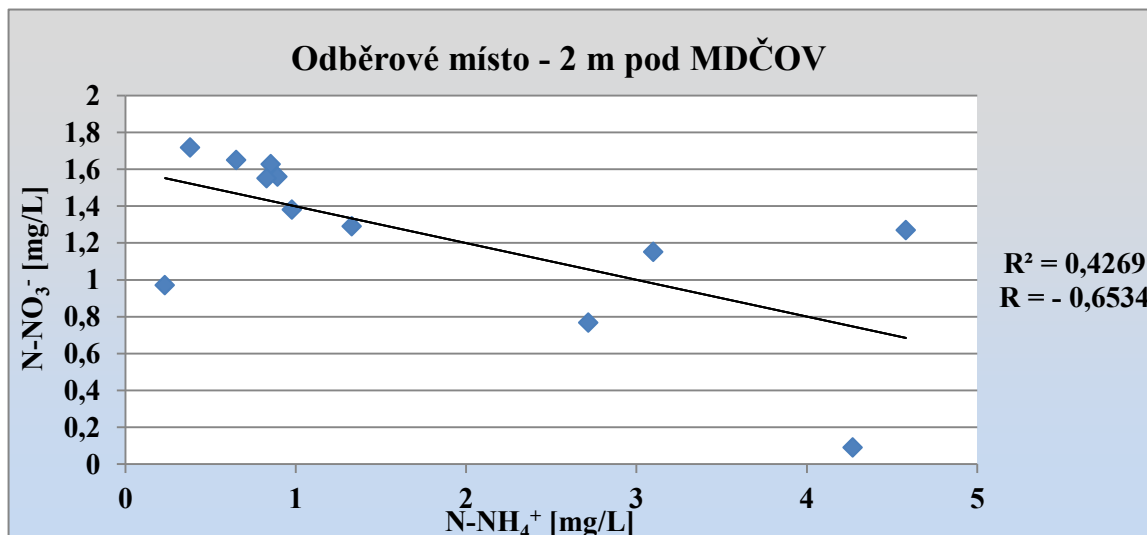


Graf 12: Závislost  $N-NH_4^+$  na  $O_2$  v Hradištském potoce (říjen 2016 – září 2017)



Graf 13: Závislost  $N-NH_4^+$  na  $O_2$  v Hradištském potoce (říjen 2016 – září 2017)

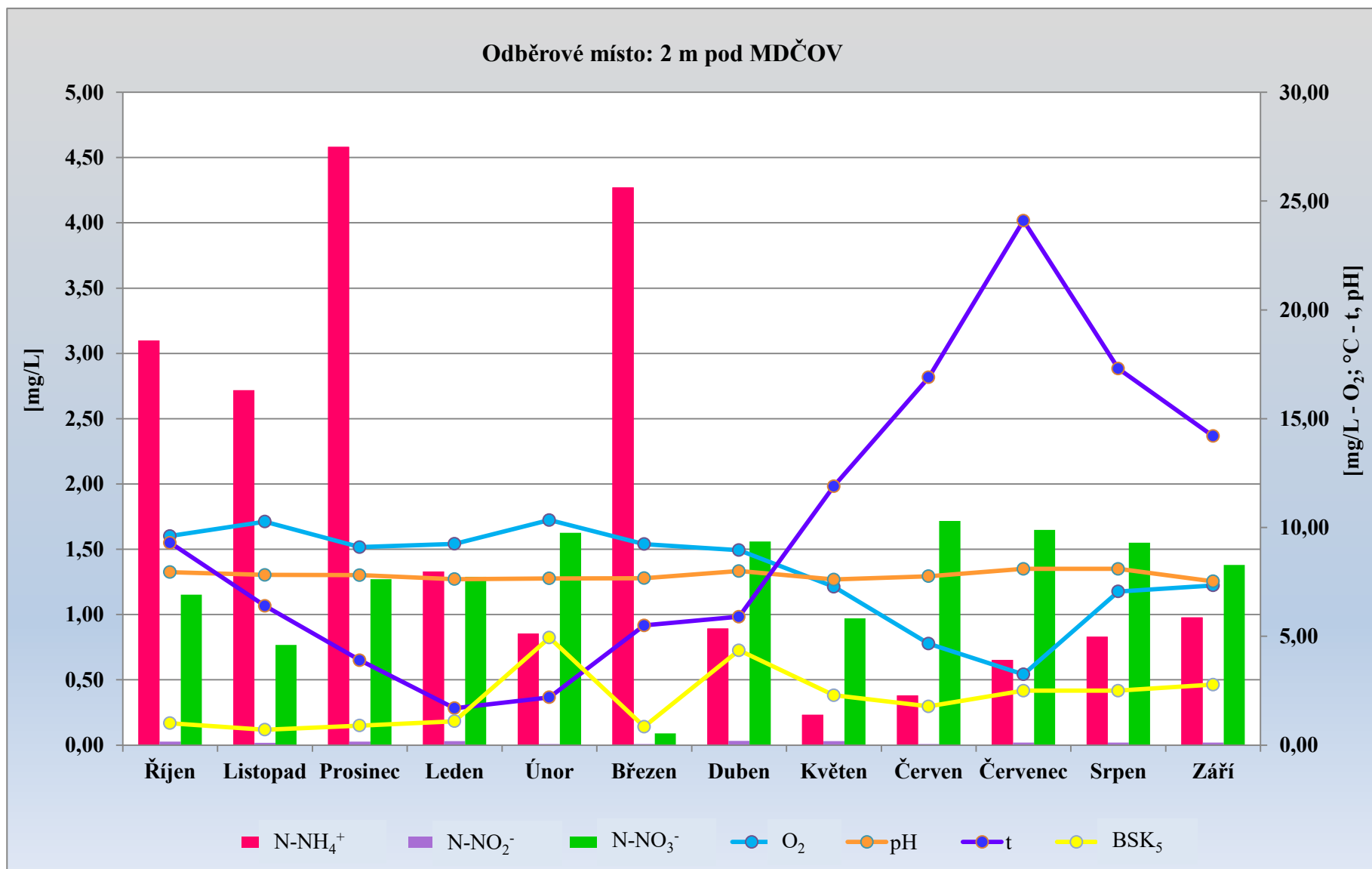
Graf 14 zobrazuje nepřímou závislost mezi parametrem  $\text{N-NH}_4^+$  a  $\text{N-NO}_3^-$ . Index korelace nabyl hodnoty -0,6534. V ostatních odběrových místech se tato závislost neprojevila.



Graf 14: Závislost  $\text{N-NH}_4^+$  na  $\text{N-NO}_3^-$  v Hradištském potoce (říjen 2016 – září 2017)

Jak už bylo zmíněno výše, ve třetím odběrovém místě 2 m pod výtokem odpadní vody z MDČOV nastala nepřímá závislost mezi  $\text{N-NH}_4^+$  a  $\text{N-NO}_3^-$ . Koncentrace  $\text{N-NO}_3^-$  stoupaly v závislosti na nižší koncentraci  $\text{N-NH}_4^+$ , což se podle Langhammera vyvíjí stejně i na velké řece. Za období říjen 2016 až září 2017 byly hodnoty  $\text{N-NO}_3^-$  vyšší oproti hodnotám  $\text{N-NH}_4^+$  celkem v sedmi měsících, což se projevilo především od dubna do září 2017, kdy se zvýšila i teplota a zároveň se snížil obsah rozpuštěného kyslíku (viz Graf 15). Dále jsou v grafu zobrazeny hodnoty pH,  $\text{BSK}_5$  a  $\text{N-NO}_2^-$ .

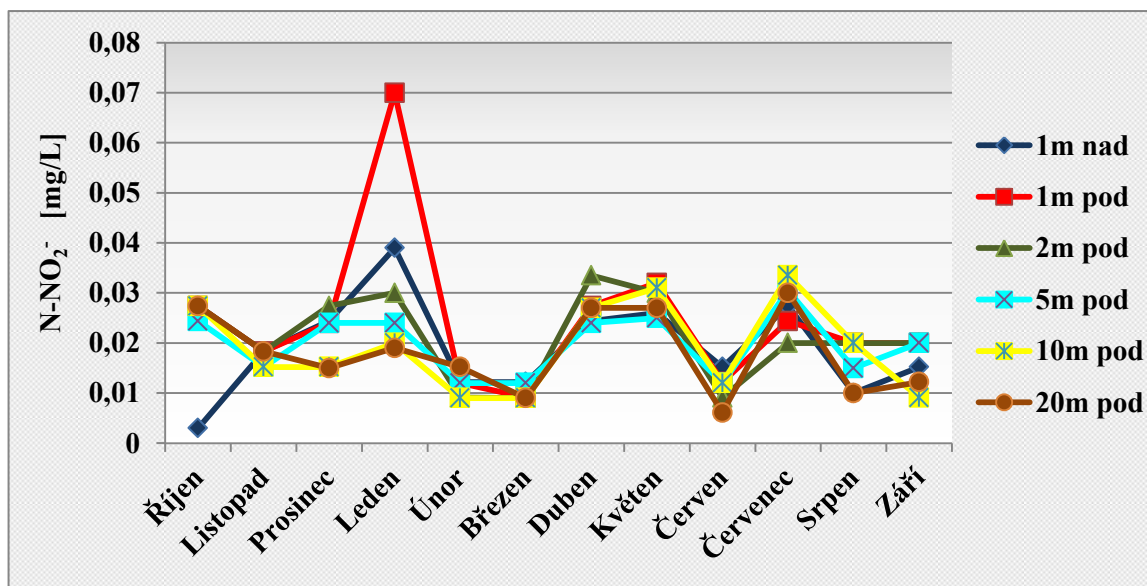
Podle Langhammera [2]  $\text{N-NO}_3^-$  v průběhu roku oscilují v závislosti na vegetačním období a průtoku. Koncentrace dusičnanu na řece stoupají se zvýšeným průtokem v mimo vegetační období na podzim a v zimě. Po srovnání s mými naměřenými daty v Hradištském potoce byl 2 m pod MDČOV zaznamenán pravý opak. Hodnoty dusičnanového dusíku ve vegetačním období rostly a naopak v mimo vegetační období byly nižší.



Graf 15: Vývin analyzovaných forem dusíku 2 m pod MDČOV (říjen 2016 – září 2017)

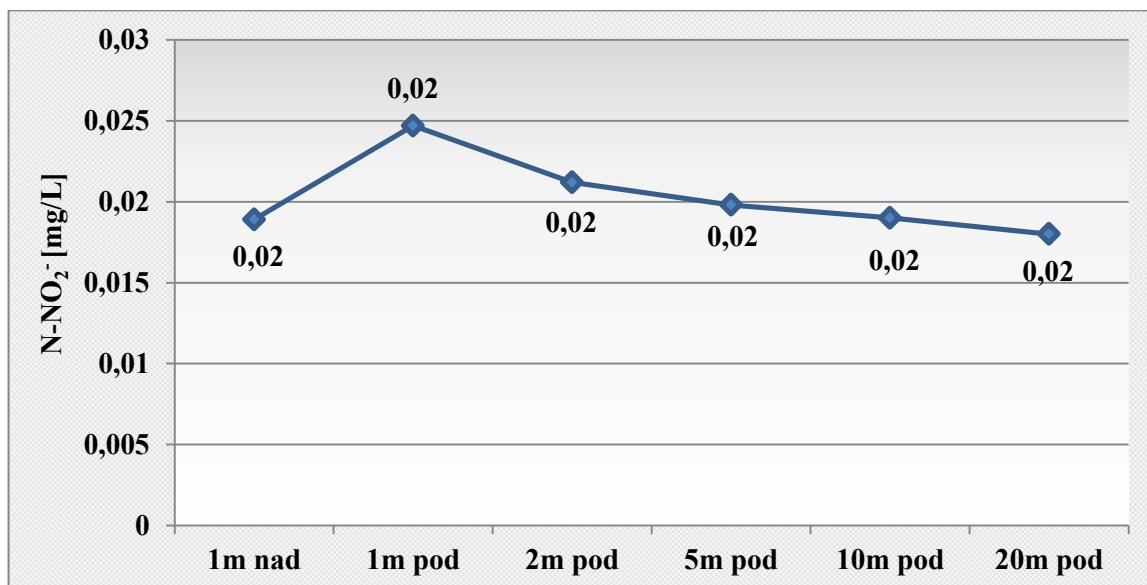
## 5.6 Dusitanový dusík ( $\text{N-NO}_2^-$ )

V průběhu sledovaného roku se hodnoty  $\text{N-NO}_2^-$  v recipientu pohybovaly pouze ve stopovém množství, protože jsou dusitany ve vodě velice nestálé, podléhají nitrifikačnímu procesu, při kterém se velmi rychle oxidují na dusičnany [1]. V podélném profilu se koncentrace  $\text{N-NO}_2^-$  pohybovaly v rozmezí 0,003 – 0,07 mg/L. Z Graf 16 lze vidět výrazně vychýlenou hodnotu v lednu 1 m pod výpustí z MDČOV. Hodnoty  $\text{N-NO}_2^-$  se po celý rok zpravidla snižovaly po 20 m pod MDČOV a po 10 m pod MDČOV v první polovině hodnoceného období od října 2016 do dubna 2016, avšak tento rozdíl hodnot byl nepatrný vzhledem k nízkým koncentracím  $\text{N-NO}_2^-$ .



Graf 16: Vývoj koncentrací  $\text{N-NO}_2^-$  v podélném profilu Hradištského potoka (říjen 2016 – září 2017)

V Hradištském potoce byly průměrné roční hodnoty koncentrací  $\text{N-NO}_2^-$  zanedbatelné, dosahovaly pouze 0,02 mg/L (viz Graf 17).



Graf 17: Průměrné roční hodnoty  $\text{N-NO}_2^-$  v podélném profilu Hradištského potoka

Vzhledem k naměřeným velice nízkým hodnotám dusitanového dusíku lze vodu v podélném profilu charakterizovat jako neznečištěnou řadící se do I. třídy kvality vod (Tabulka 15).

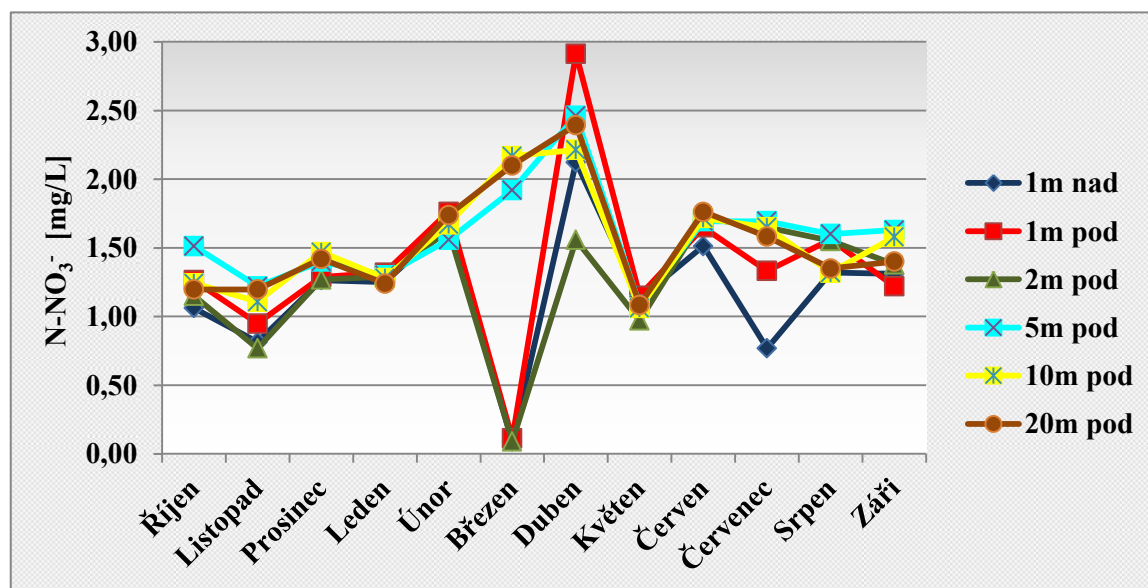
Tabulka 15: Třídy kvality vody dle  $\text{N-NO}_2^-$  v Hradištském potoce (říjen 2016 – září 2017)

| $\text{N-NO}_2^-$ | 1m nad | 1m pod | 2m pod | 5m pod | 10m pod | 20m pod |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| Třída kvality     | I      | I      | I      | I      | I       | I       |



## 5.7 Dusičnanový dusík ( $\text{N-NO}_3^-$ )

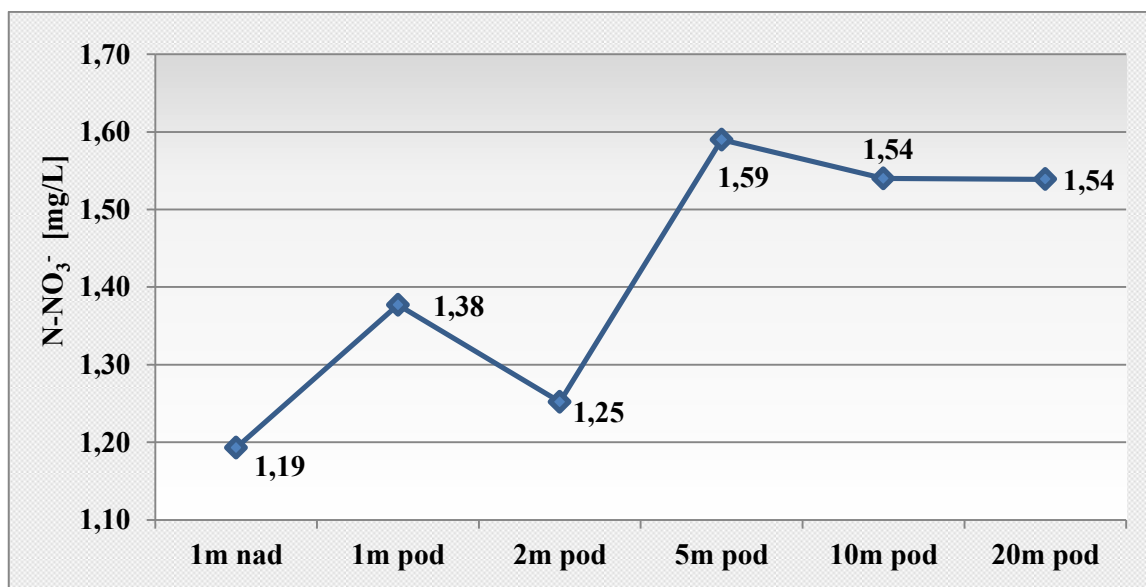
Z počátku sledovaného období od října 2016 až po duben 2017 docházelo k mírnému postupnému vzrůstu hodnot  $\text{N-NO}_3^-$  ve všech odběrových místech, kromě lokality 2 m pod výpustí z MDCOV, v květnu došlo k prudkému poklesu hodnot, jak lze vidět z Graf 18. Od června hodnoty opět lehce vzrostly a udržely se na přibližně stejné hodnotě u všech odběrových míst až do září 2017.



Graf 18: Vývoj koncentrací  $\text{N-NO}_3^-$  v podélném profilu Hradišťského potoka (říjen 2016 – září 2017)

Průměrné roční koncentrace  $\text{N-NO}_3^-$  v recipientu se pohybovaly v rozmezí hodnot 1,19 až 1,59 mg/L (Graf 19), což je přibližně 4 krát méně než je přípustné znečištění povrchových vod dle NV č. 401/2015 Sb., které udává limitní hodnotu 5,4 mg/L.

Podle Langhammera [2] hodnoty  $\text{N-NO}_3^-$  v podélném profilu klesají velice málo a po několika kilometrech s naředěním řeky s méně znečištěným přítokem. V Hradišťském potoce hodnoty výrazně klesly 2 m pod čistírnou, v ostatních odběrových místech hodnoty  $\text{N-NO}_3^-$  vzrostly.



Graf 19: Průměrné roční hodnoty N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> v podélném profilu Hradišťského potoka

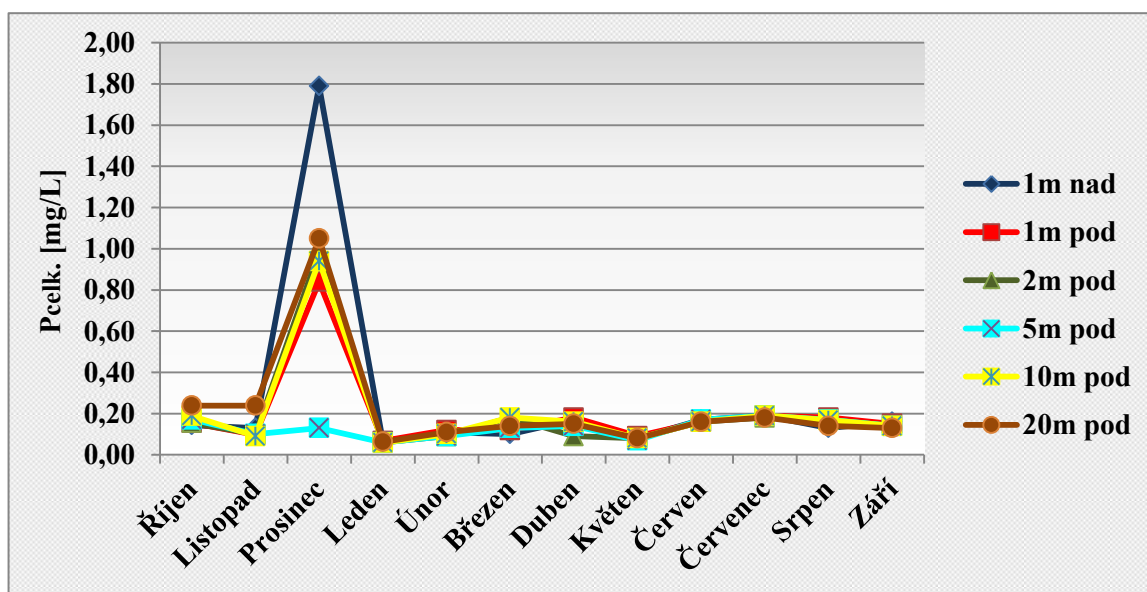
Hradišťský potok byl vzhledem k naměřeným nízkým hodnotám dusičnanového dusíku ve všech odběrových místech zařazen do I. třídy kvality vody (viz Tabulka 16) dle ČSN 75 7221 jako neznečištěná voda. Kvalita povrchové vody v bezejmenném potoce v Ostravě Radvanicích se řadila do II. třídy tehdejší jakosti vod [16].

Tabulka 16: Třídy kvality vod dle N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> v Hradišťském potoce (říjen 2016 – září 2017)

| N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | 1m nad | 1m pod | 2m pod | 5m pod | 10m pod | 20m pod |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| Třída kvality                  | I      | I      | I      | I      | I       | I       |

## 5.8 Celkový fosfor ( $P_{\text{celk}}$ )

Koncentrace celkového fosforu během hodnoceného období říjen 2016 až září 2017 byly téměř po celou dobu konstantní. Pouze v prosinci roku 2016 došlo k markantnímu nárůstu celkového fosforu na pěti odběrových místech (viz Graf 20), nejvyšší hodnota byla naměřena v tomto měsíci 1 m nad výtokem odpadní vody.

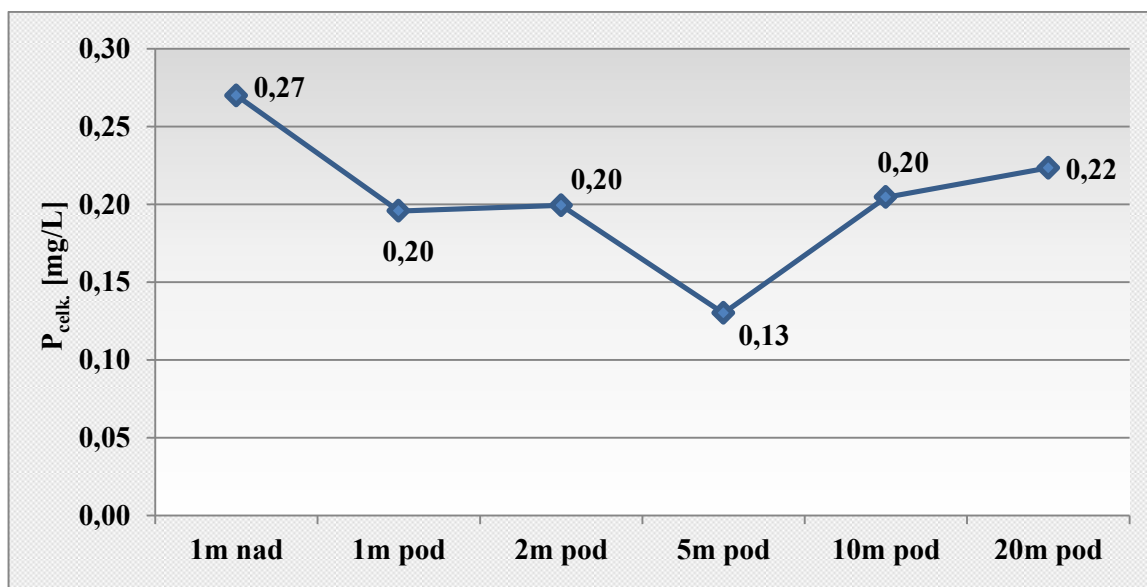


Graf 20: Vývoj koncentrací  $P_{\text{celk}}$  v podélném profilu Hradišťského potoka (říjen 2016 – září 2017)

Průměrné hodnoty koncentrací celkového fosforu v podélném profilu dosahovaly hodnot od 0,13 po 0,27 mg/L, většina z nich nabývala hodnoty 0,20 mg/L (viz Graf 21). Nejvyšší průměrná hodnota koncentrace fosforu byla naměřena již na odběrovém místě 1 m nad vtokem z čistírny. To vypovídá o zatížení toku fosforem jinými zdroji znečištění, např. bodovými zdroji (MDČOV), které se na celé délce toku nacházejí (viz Příloha 2).

Na tomto zatížení se s velkou pravděpodobností podílí MDČOV, které se na toku nacházejí. V menší míře může k tomuto zatížení přispět i zemědělská činnost, používáním hnojiv na bázi fosforu, ten je obvykle absorbován ve svrchních vrstvách půdy nebo v nenasycené zóně a odtud se následně vlivem půdního smyvu dostává do vodního toku [52].

Výrazné místo poklesu koncentrace  $P_{\text{celk}}$  bylo zaznamenáno 5 m pod výpustí OV z MDČOV, což mohlo být způsobeno zvýšenou akumulací fosforu v dnových sedimentech v tomto úseku, jelikož se fosforečnanové ionty lehce váží na kovy (Fe, Al, Ca), které se v sedimentech nacházejí a tvoří tak fosforečnany železa, vápníku či hliníku [1].



Graf 21: Průměrné roční hodnoty  $P_{\text{celk.}}$  v podélném profilu Hradištského potoka

V průběhu hodnoceného období říjen 2016 až září 2017 byly zaznamenány nadlimitní hodnoty celkového fosforu téměř ve všech analyzovaných místech s výjimkou místa 5 m pod výtokem z MDČOV, kde byla průměrná hodnota celkového fosforu za hodnocené období nejnižší a splňovala podmínky přípustného znečištění pro povrchové vody, která udává limit 0,15 mg/L.

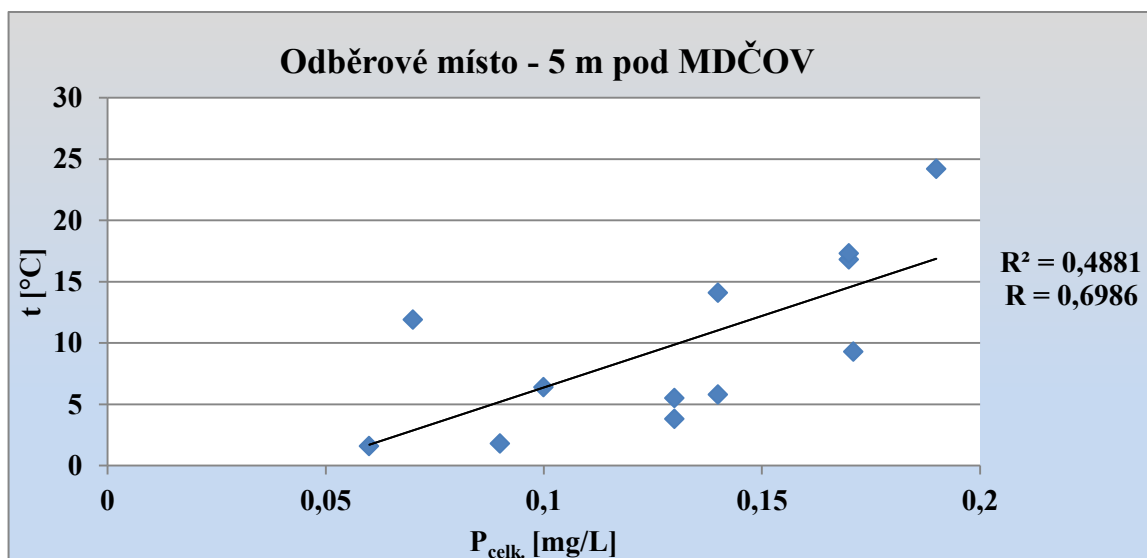
V podélném profilu Hradištského potoka se koncentrace  $P_{\text{celk.}}$  skoro neměnily. Podle Langhammera [2] nebyly ani v podélném profilu Labe zaznamenány výrazné změny koncentrací fosforu, protože se fosfor v tocích rozkládá relativně pozvolně. Proměnlivost koncentrace fosforu se zpravidla projevuje pod výpusti odpadní vody na dlouhém úseku toku zvýšením koncentrace  $P_{\text{celk.}}$  [2].

Z hlediska kvality vody se Hradištský potok řadí do III třídy kvality vody (viz Tabulka 17), což značí znečištěnou vodu. Do této třídy byl zařazen i bezejmenný potok v O. - Radvanicích, do kterého vtéká odpadní voda z aktivační MDČOV a byla zde také přesáhnuta hodnota přípustného znečištění pro povrchové vody [16].

Tabulka 17: Třídy kvality vody dle  $P_{\text{celk.}}$  v Hradištském potoce (říjen 2016 – září 2017)

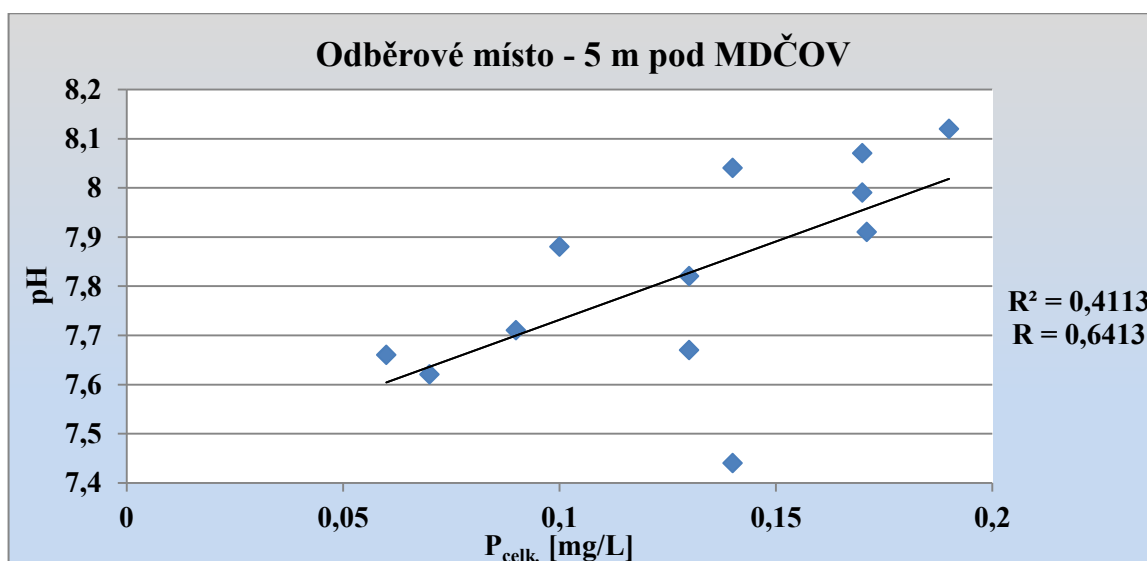
| $P_{\text{celk.}}$ | 1m nad | 1m pod | 2m pod | 5m pod | 10m pod | 20m pod |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| Třída kvality      | III    | III    | III    | III    | III     | III     |

Statisticky významná závislost celkového fosforu mezi teplotou, hodnotou pH, oxidačně – redukčním potenciálem a kyslíkem se projevila pouze 5 m pod výtokem z MDČOV. Graf 22 znázorňuje závislost celkového fosforu na teplotě, kde korelační účinek dosáhl hodnoty 0,6986, což znamená, že s rostoucí teplotou se zvyšuje koncentrace celkového fosforu.



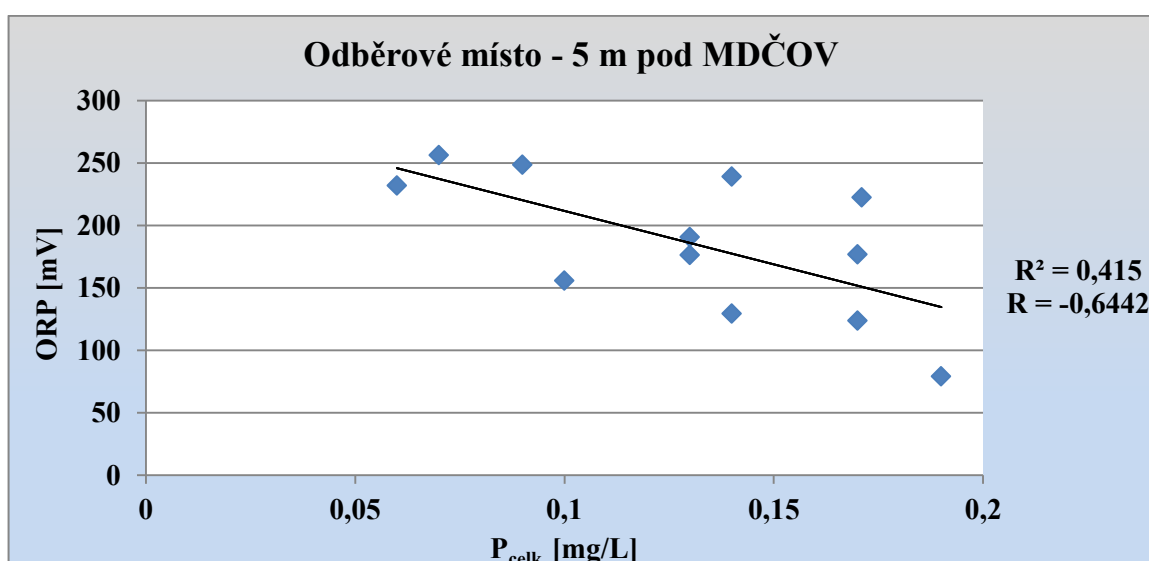
Graf 22: Závislost  $P_{\text{celk.}}$  na teplotě v Hradištském potoce (říjen 2016 – září 2017)

Závislost  $P_{\text{celk.}}$  na hodnotě pH je zobrazena na Graf 23, index korelace je zde 0,6413. Jelikož byla projevlena přímá závislost mezi těmito parametry, pojednává to o tom, že se zvyšující se hodnotou pH roste koncentrace celkového fosforu. Za tento fakt může s největší pravděpodobností uvolňování fosforu z dnových sedimentů, protože při vyšším pH stoupá rozpustnost fosforečnanů v důsledku hydrolyzy.

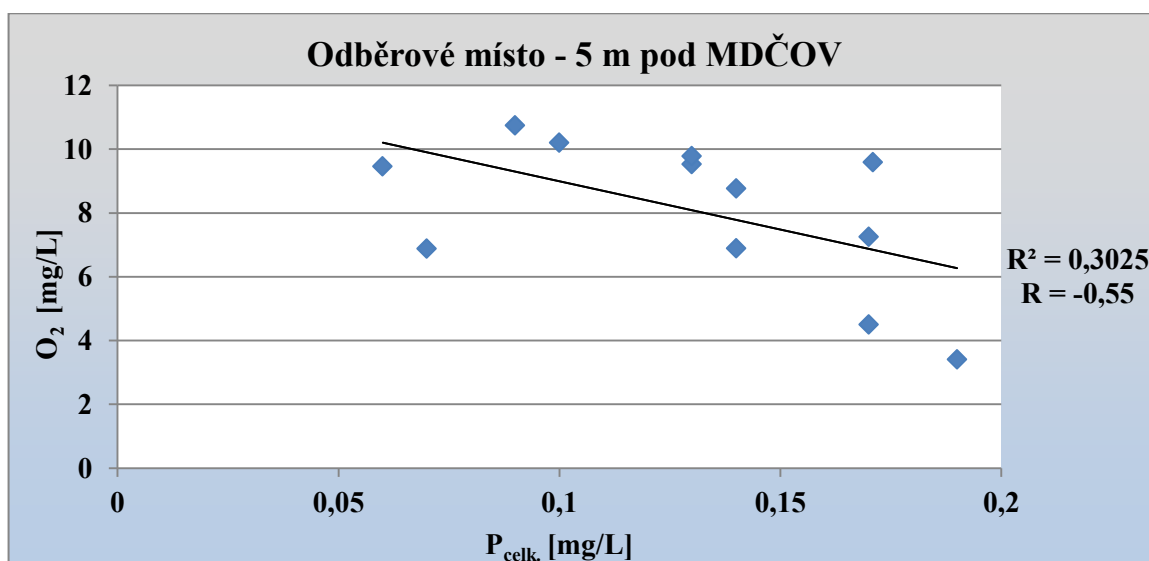


Graf 23: Závislost  $P_{\text{celk.}}$  na pH v Hradištském potoce (říjen 2016 – září 2017)

Graf 24 ilustruje nepřímou závislost mezi parametry  $P_{\text{celk.}}$  a ORP. Korelační index v tomto případě nabývá hodnoty -0,6442. Nepřímá závislost se také projevila mezi celkovým fosforem a rozpuštěným kyslíkem v recipientu. V průběhu sledovaného období říjen 2016 – září 2017 v úseku 5 m pod výpustí z MDČOV dosáhl index korelace mezi  $P_{\text{celk.}}$  a  $O_2$  hodnoty -0,55 (viz Graf 25). Nepřímá závislost poukazuje na to, že koncentrace celkového fosforu stoupá s klesající hodnotou oxidačně – redukčního potenciálu a rozpuštěného kyslíku. Tato nepřímá závislost koresponduje s údaji uvedenými v literatuře, v anoxických podmínkách a za nízkého oxidačně-redukčního potenciálu dochází k uvolňování fosforu ze sedimentů [1]; [53].



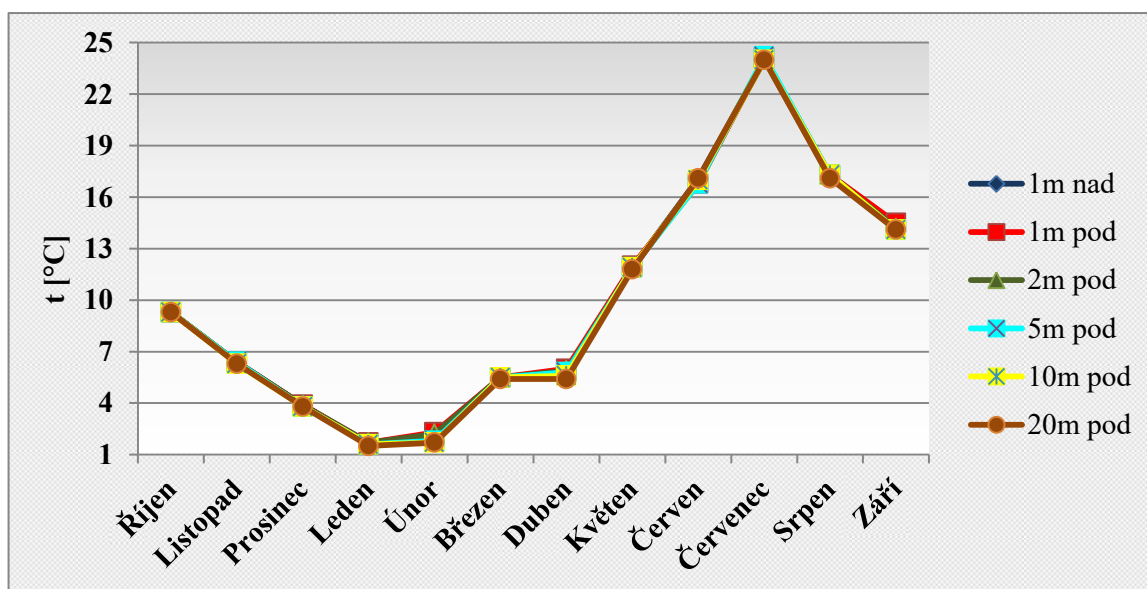
Graf 24: Závislost  $P_{\text{celk.}}$  na ORP v Hradišťském potoce (říjen 2016 – září 2017)



Graf 25: Závislost  $P_{\text{celk.}}$  na  $O_2$  v Hradišťském potoce (říjen 2016 – září 2017)

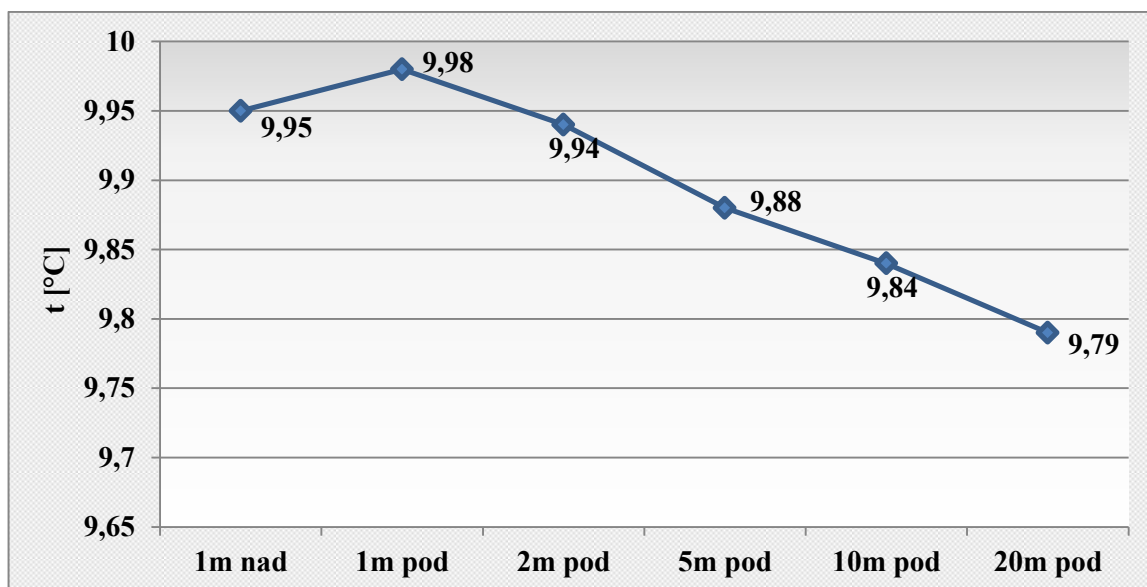
## 5.9 Teplota vody

Teplota vody se v průběhu monitorovaného období měnila v závislosti na ročním období. Z Graf 26 je patrné, že teplota vody od října 2016 po únor 2017 postupně klesala. Od března po červenec docházelo k postupnému zvyšování teploty vody, poté se teplota zase snižovala. Nejvyšší teplota byla naměřena v lokalitě 5 m pod výpustí z MDČOV a to v červenci 24,20 °C, naopak nejnižší hodnota byla naměřena v lednu 1,50 °C v posledním hodnoceném místě. Teplota vody byla ve všech profilových místech v jednotlivých měsících v Hradišťském potoku takřka stejná, lišila v některých případech pouze o desetiny stupně celsia.



Graf 26; Vývoj teploty vody v podélném profilu Hradišťského potoka (říjen 2016 – září 2017)

V Graf 27 jsou graficky znázorněny průměrné roční teploty vody v recipientu, jelikož se hodnoty pohybovaly v rozmezí 9,79 – 9,98 °C nebyla překročena maximální přípustná hodnota znečištění dle NV č. 401/2015 Sb., která činí 29°C. Vyčištěná odpadní voda z MDČOV, teplotu vody v Hradišťském potoce téměř neovlivňovala, protože rozdíl mezi teplotou nad a pod výtokem z MDČOV činil pouze 0,03 °C. Teploty vody v toce není bezprostředně ovlivňován přímým slunečním zářením z atmosféry, jelikož se v blízkosti toku nachází keřové a stromové patro.



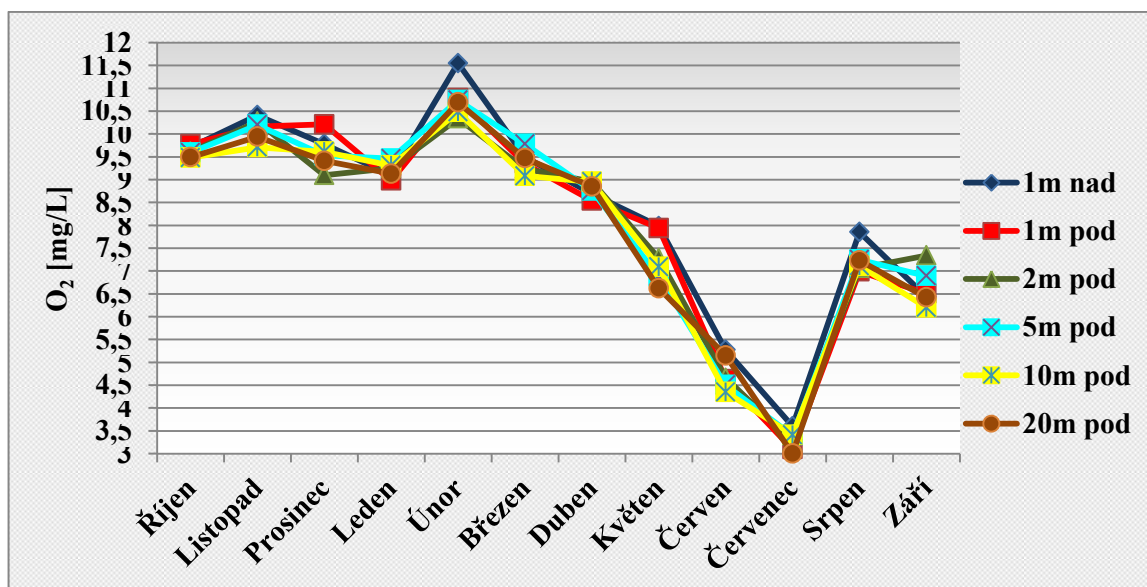
Graf 27; Průměrné roční teploty v podélném profilu Hradišťského potoka

## 5.10 Obsah rozpuštěného kyslíku

Obsah rozpuštěného kyslíku v povrchových vodách kolísá v průběhu roku v závislosti na teplotě, vodnosti toku, tlaku, nadmořské výšce, hloubce toku, rychlosti proudění, množství znečišťujících látek, činnosti vodních organismů, fytoplanktonu apod. Čím větší množství znečišťujících látek se ve vodě vyskytuje, tím je obsah rozpuštěného kyslíku nižší, jelikož se kyslík spotřebovává biochemickými rozkladnými procesy na odbourání zejména organických látek [1]; [2].

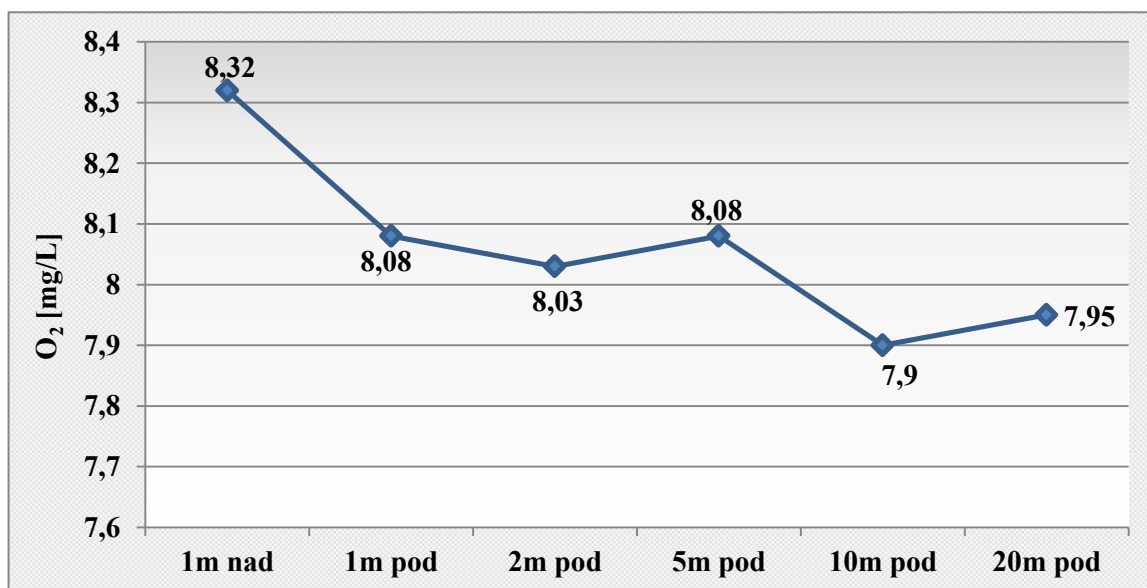
Obsah rozpuštěného kyslíku v recipientu se během sledovaného období měnil s ročním obdobím, což jde vidět z Graf 28. Koncentrace rozpuštěného kyslíku byly nejvyšší v chladnějším období od října 2016 do března 2017, poté docházelo k postupnému klesání hodnot koncentrací rozpuštěného kyslíku až do července 2017, kdy byl obsah rozpuštěného kyslíku nejnižší v důsledku zvýšené teploty vody. V červenci se ve všech odběrových místech hodnoty pohybovaly jen v rozmezí 3 – 3,6 mg/L. V srpnu teplota vody v toku klesla, což se projevilo nárůstem obsahu rozpuštěného kyslíku v toku.





Graf 28; Vývoj koncentrací O<sub>2</sub> v podélném profilu Hradišťského potoka (říjen 2016 – září 2017)

V Graf 29 jsou graficky znázorněny průměrné roční koncentrace rozpuštěného kyslíku za celé sledované období říjen 2016 – září 2017. Langhammer [2] tvrdí, že koncentrace rozpuštěného kyslíku v podélném profilu zpravidla klesají pod vtokem odpadní vody z čistírny. Toto tvrzení se potvrdilo, druhé odběrové místo v recipientu představuje místo poklesu rozpuštěného kyslíku, které odpovídá 1 m pod výpustí odpadní vody, kde dochází k velice mírné spotřebě kyslíku na odbourání znečištění po celé délce toku. Ve všech odběrových místech nebyla dosažena minimální požadovaná hodnota přípustného znečištění 9 mg/L.



Graf 29; Průměrné roční koncentrace O<sub>2</sub> v podélném profilu Hradišťského potoka

Voda ve všech hodnocených úsecích Hradišťského potoka byla silně znečištěná dle koncentrace rozpuštěného kyslíku a zařazena dle ČSN 75 7221 do IV. třídy kvality vod. Přehled jednotlivých tříd kvality vody na různých místech v toku je uveden v Tabulka 18.

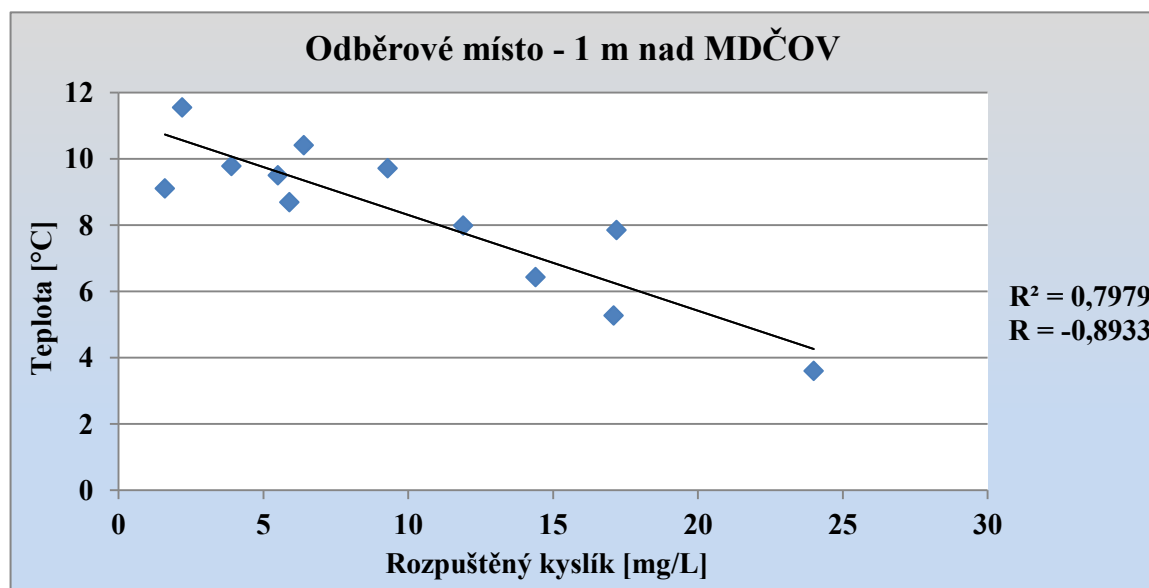
V bezejmenném potoce v Ostravě – Radvanicích nebyla také dosažena požadovaná minimální hodnota  $O_2$  a tok byl zařazen do IV. třídy tehdejší jakosti vod [16]

**Tabulka 18; Třídy kvality vody dle  $O_2$  v Hradišťském potoce (říjen 2016 – září 2017)**

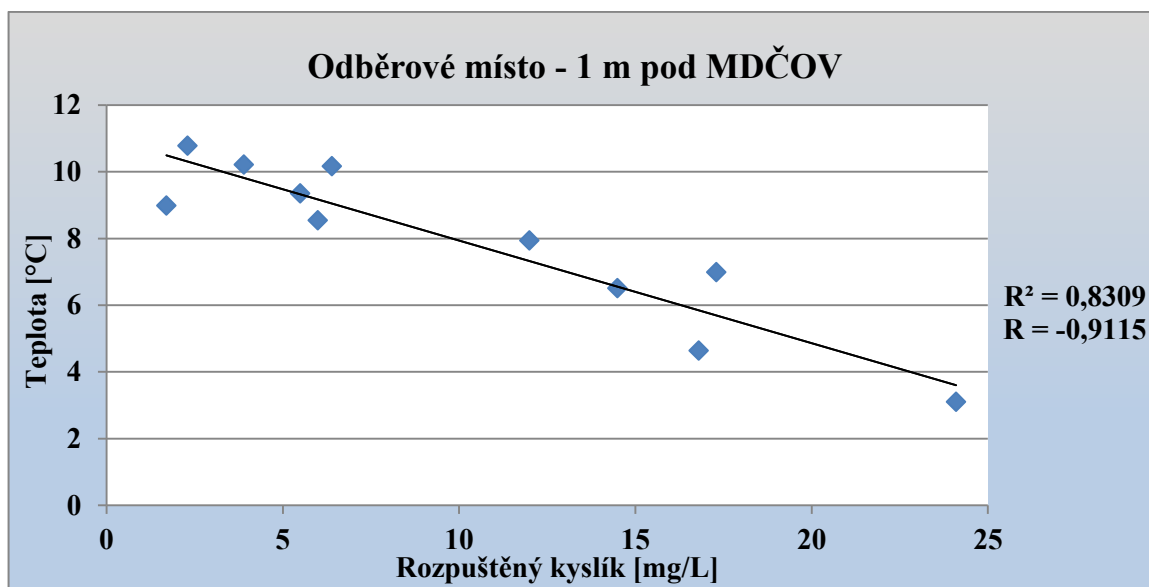
| $O_2$         | 1m nad | 1m pod | 2m pod | 5m pod | 10m pod | 20m pod |
|---------------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| Třída kvality | IV     | IV     | IV     | IV     | IV      | IV      |

V Hradišťském potoce obsah rozpuštěného kyslíku s teplotou klesá, tato nepřímá závislost nastala ve všech odběrových místech. V místě 1 m nad výtokem OV z MDČOV je korelační index -0,8933, což poukazuje na velkou statistickou významnost, viz Graf 30. Graf 31 znázorňuje tuto závislost v odběrovém místě 1 m pod výpustí odpadní vody, kde nabyl korelační index hodnoty -0,9115.

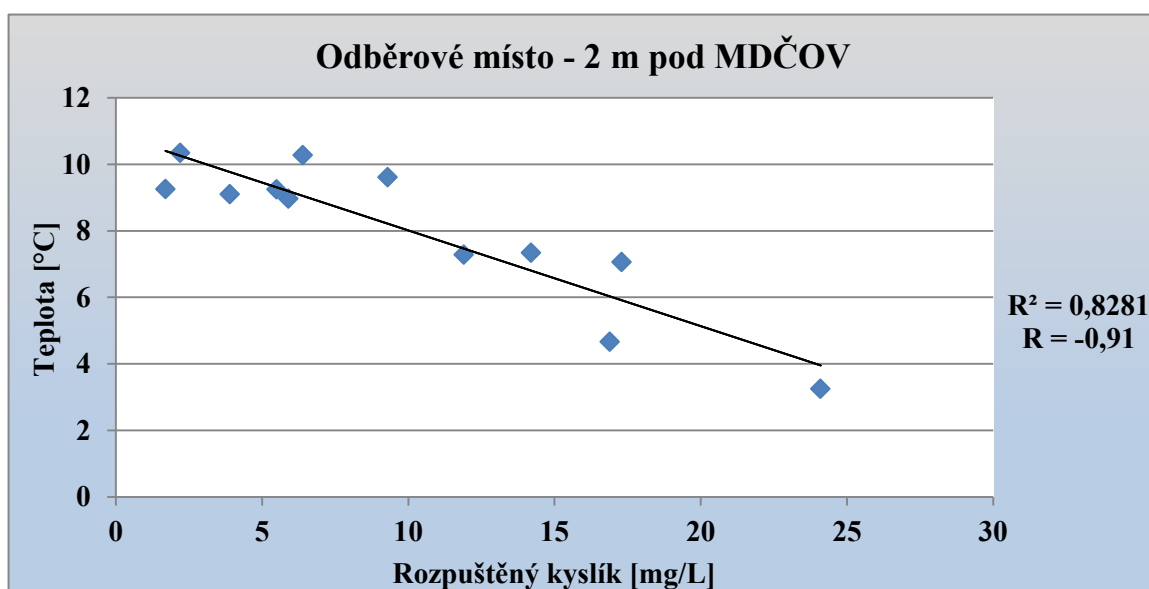
Graf 32 zobrazuje místo 2 m pod výpustí s korelačním indexem -0,91. Graf 33 ilustruje odběrové místo 5 m pod výtokem OV, kde je korelační index -0,9165. Graf 34 zobrazuje závislost mezi teplotou a kyslíkem 10 m pod vyústějící OV z MDČOV, korelační index zde dosáhl hodnoty -0,9257, což poukazuje na velkou statistickou závislost. V posledním odběrovém místě 20 m pod MDČOV byla prokázána také velká statistická závislost, korelační index byl -0,9296.



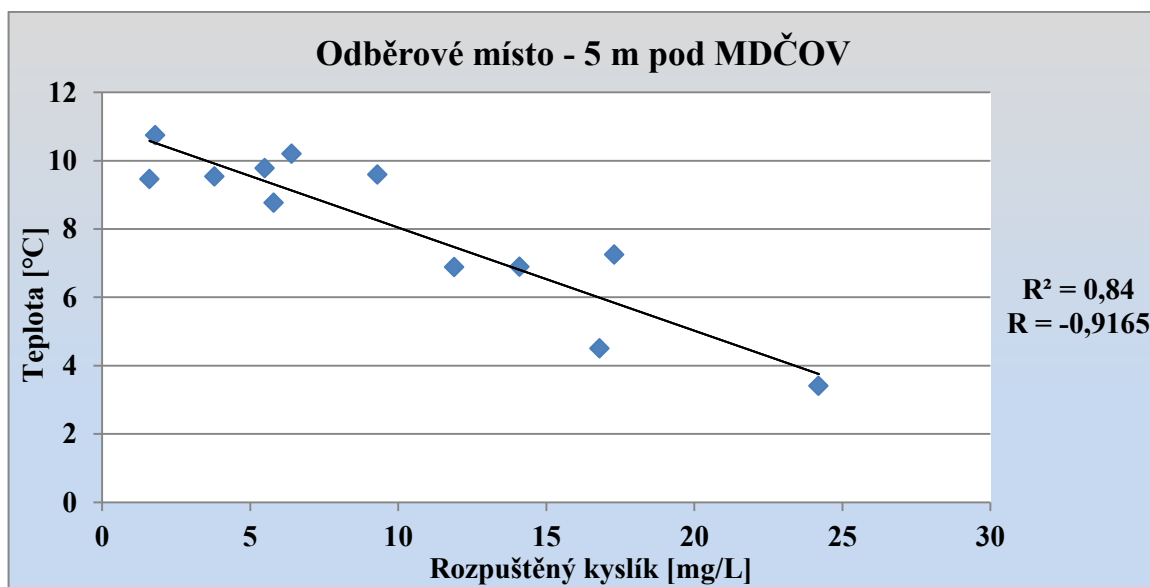
**Graf 30; Závislost  $O_2$  na teplotě v Hradišťském potoce (říjen 2016 – září 2017)**



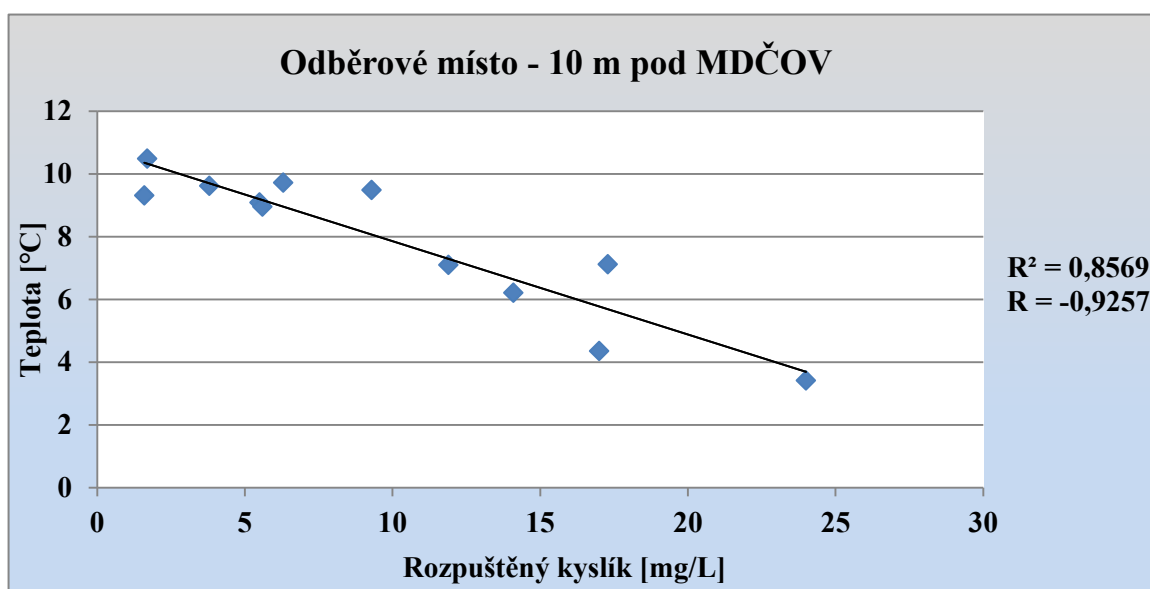
Graf 31; Závislost  $O_2$  na teplotě v Hradišťském potoce (říjen 2016 – září 2017)



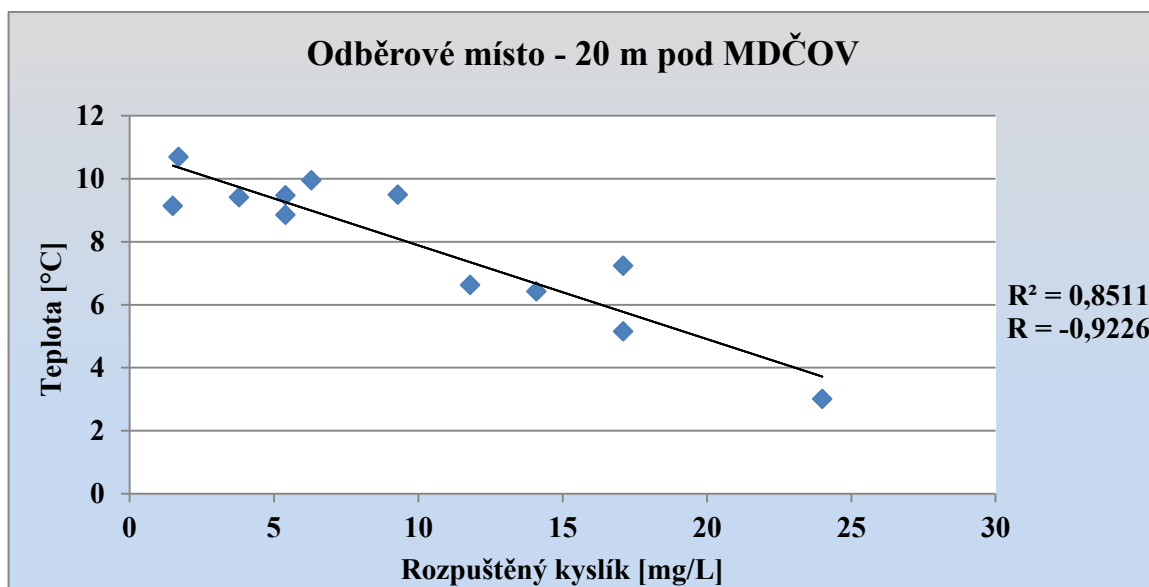
Graf 32; Závislost  $O_2$  na teplotě v Hradišťském potoce (říjen 2016 – září 2017)



Graf 33; Závislost  $O_2$  na teplotě v Hradišťském potoce (říjen 2016 – září 2017)



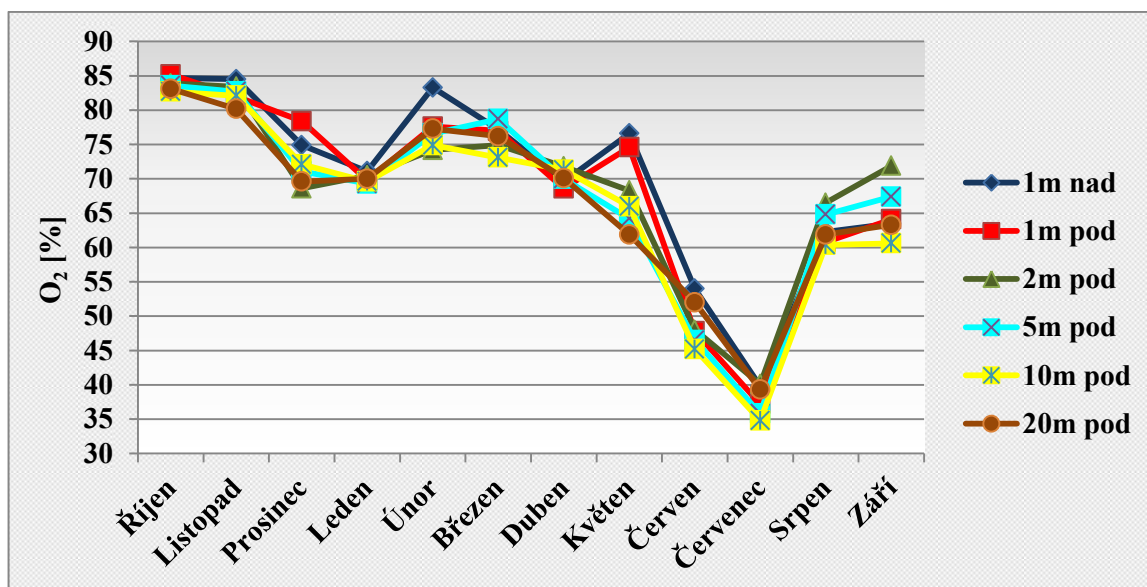
Graf 34; Závislost  $O_2$  na teplotě v Hradišťském potoce (říjen 2016 – září 2017)



**Graf 35; Závislost  $O_2$  na teplotě v Hradišťském potoce (říjen 2016 – září 2017)**

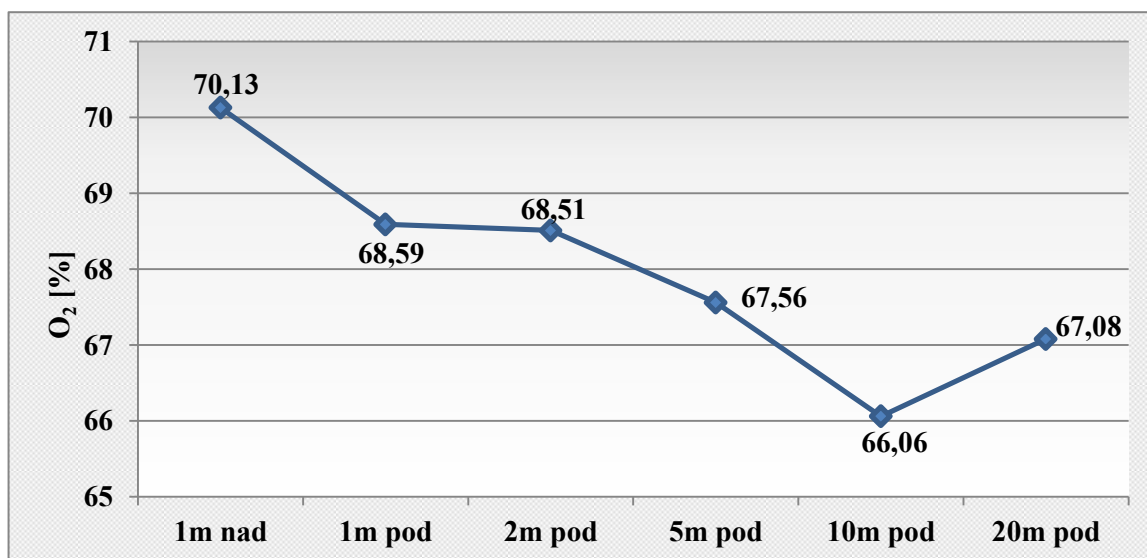
Obsah rozpuštěného kyslíku se také vyjadřuje procentem nasycení. V tocích se nasycení zpravidla pohybuje okolo 85 – 95%. K dosažení 100% nasycení vody kyslíkem voda požaduje menší obsah rozpuštěného kyslíku při vyšších teplotách a naopak. V případě, že je voda v tocích nedostatečně nasycená kyslíkem může dojít k tzv. kyslíkovému deficitu (5 – 15%), který se dá vyjádřit v mg/L nebo objemovým zlomkem v %, od tohoto způsobu se však dnes ustupuje. Naopak může dojít i k přesycení vody kyslíkem např. nadprůměrnou turbulencí vody nebo při intenzivní fotosyntetické asimilaci zelených organismů [1]; [54].

Na Graf 36 lze vidět nasycení vody rozpuštěným kyslíkem v podélném profilu Hradišťského potoka. Procentuální obsah rozpuštěného kyslíku se v recipientu vyvíjel obdobně jako jeho koncentrace.



Graf 36; Vývoj procentuálního O<sub>2</sub> v podélném profilu Hradištského potoka (říjen 2016 – září 2017)

Na Graf 37 jsou uvedeny průměrné roční hodnoty nasycení vody kyslíkem v období říjen 2016 až září 2017. V podélném profilu toku docházelo k postupnému mírnému poklesu hodnot rozpuštěného kyslíku.

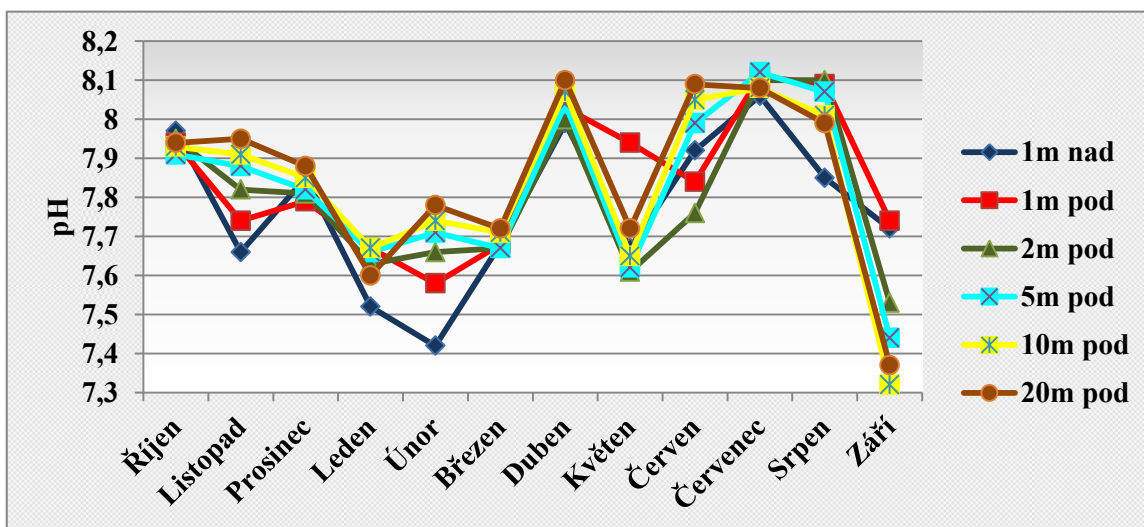


Graf 37; Průměrné roční procentuální zastoupení O<sub>2</sub> v podélném profilu Hradištského potoka

## 5.11 Hodnota pH

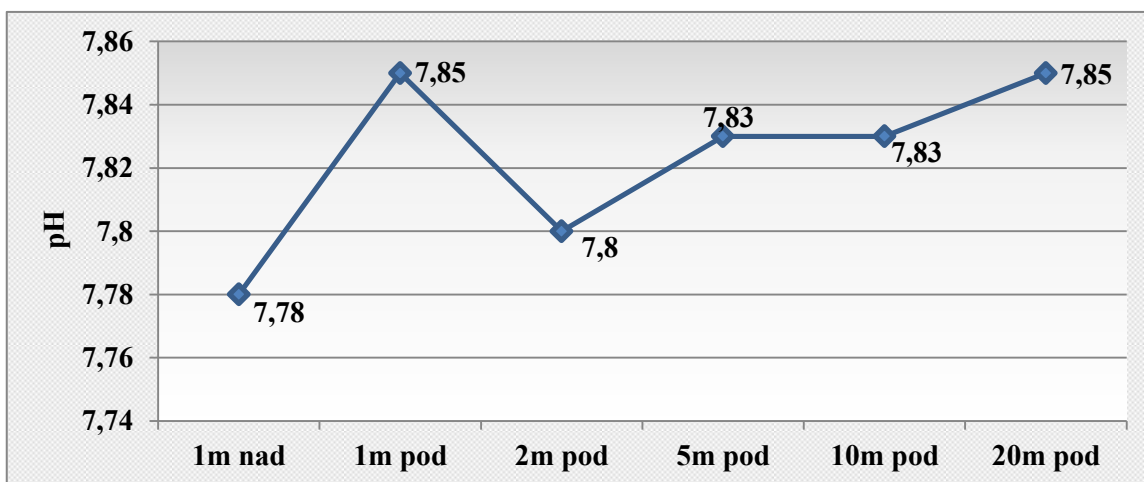
V recipientu během sledovaného období byly hodnoty pH proměnlivé. Hodnoty pH nabývaly hodnot od 7,32 do 8,12, jedná se tedy většinou o neutrální až lehce zásadité vodní prostředí. Z Graf 38 je patrné, že hodnoty pH byly v zimních měsících nižší než v letních.

Jelikož hodnota pH v letních měsících přesáhla hodnotu 8 a v červenci byla naměřena teplota 24°C byla v tento měsíc v toku přítomna toxická forma  $\text{NH}_3$  ve všech odběrových místech.



Graf 38; Vývoj hodnot pH v podélném profilu Hradištského potoka (říjen 2016 – září 2017)

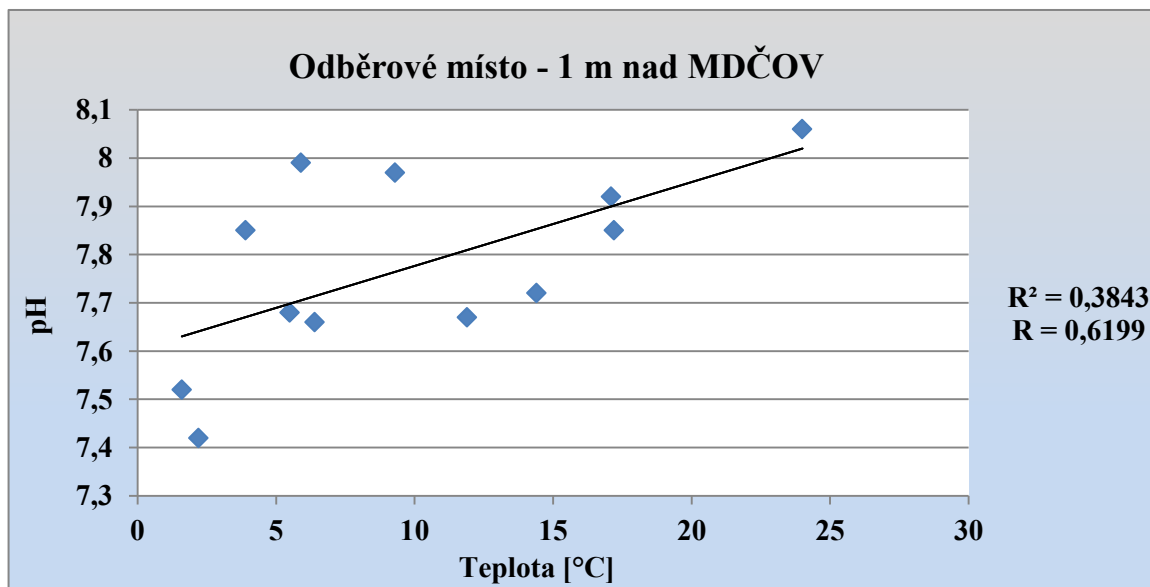
Průměrné roční hodnoty pH se v podélném profilu Hradištského potoka od sebe lišily jen o setiny (viz Graf 39) a nepřesáhly limitní hodnoty přípustného znečištění povrchových vod.



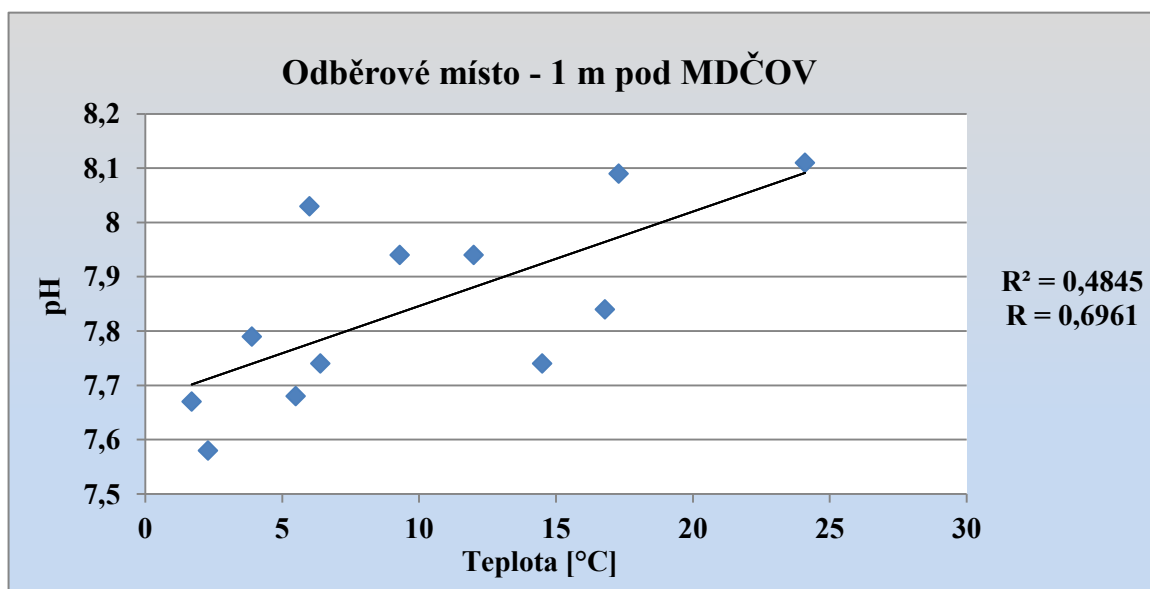
Graf 39; Průměrné roční hodnoty pH v podélném profilu Hradištského potoka



Významná závislost pH na teplotě se projevila ve dvou odběrových místech, a to nad a pod výtokem vyčištěné odpadní vody. V prvním odběrovém místě index korelace nabyl hodnoty 0,6199 (viz Graf 40). Graf 41 znázorňuje závislost pH na teplotě v druhém odběrovém místě, kde se prokázala statisticky významnější závislost, protože zde byl index korelace 0,6961.



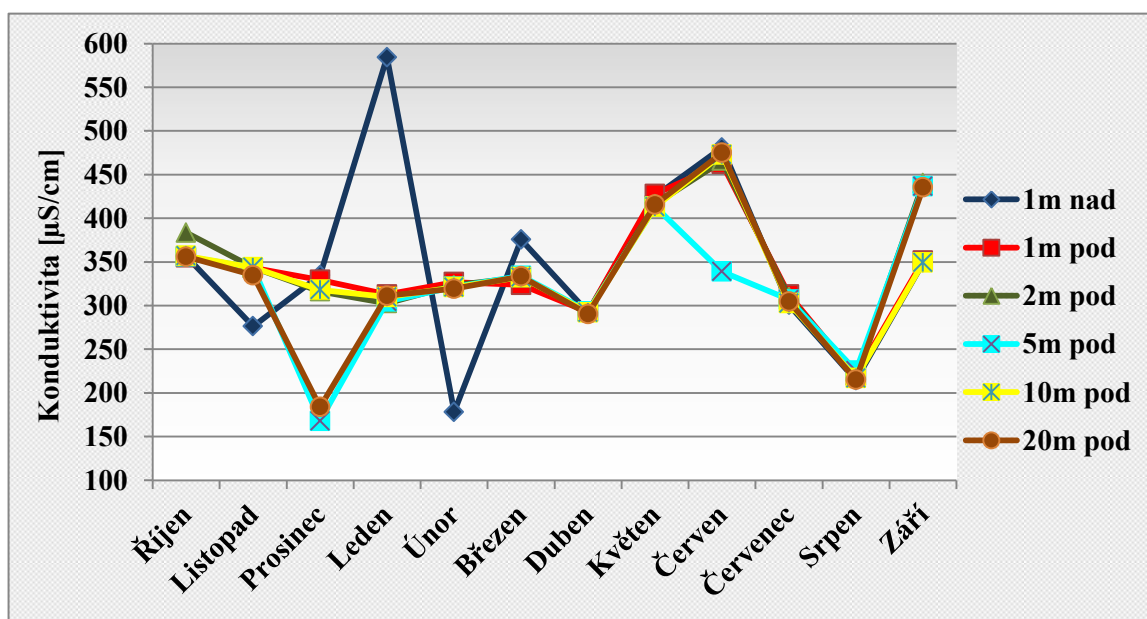
Graf 40; Závislost pH na teplotě v Hradišťském potoce (říjen 2016 – září 2017)



Graf 41; Závislost pH na teplotě v Hradišťském potoce (říjen 2016 – září 2017)

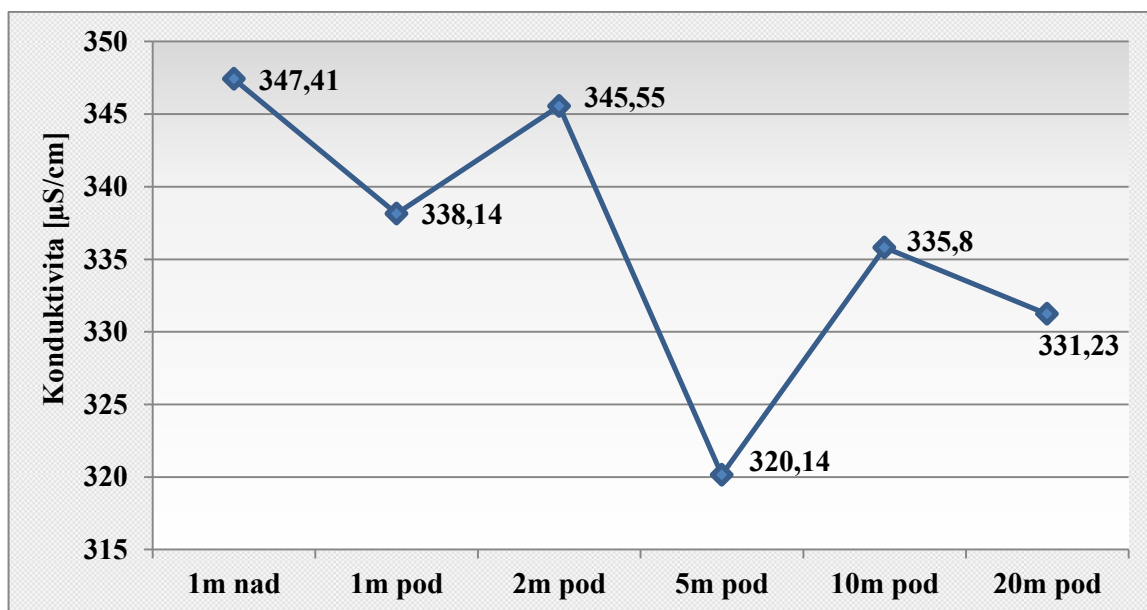
## 5.12 Konduktivita

Z Graf 42 lze vidět, že hodnoty konduktivity byly z počátku sledovaného období na odběrových místech 1 m, 2 m a 10 m pod MDČOV takřka konstantní. K vychýlení hodnot docházelo v lokalitě 1 m nad čistírnou, 5 m a 20 m pod MDČOV. Hodnoty konduktivity byly v recipientu poměrně nízké, pohybovaly se v rozmezí 167,9 – 584,4  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Dle Pittera [1] byly naměřeny podobné hodnoty konduktivity i na řece Vltavě, Ohře a Labe. Předpokládaná závislost konduktivity na teplotě se neprojevila.



Graf 42; Vývoj konduktivity v podélném profilu Hradištského potoka (říjen 2016 – září 2017)

V podélném profilu průměrné roční hodnoty konduktivity oscilovaly (Graf 43). Nejnižší průměrná hodnota byla naměřena po 20 m pod výpustí OV z MDČOV, tato hodnota se od prvního hodnoceného místa lišila o 16,18  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .



Graf 43; Průměrné roční hodnoty konduktivity v podélném profilu Hradištského potoka

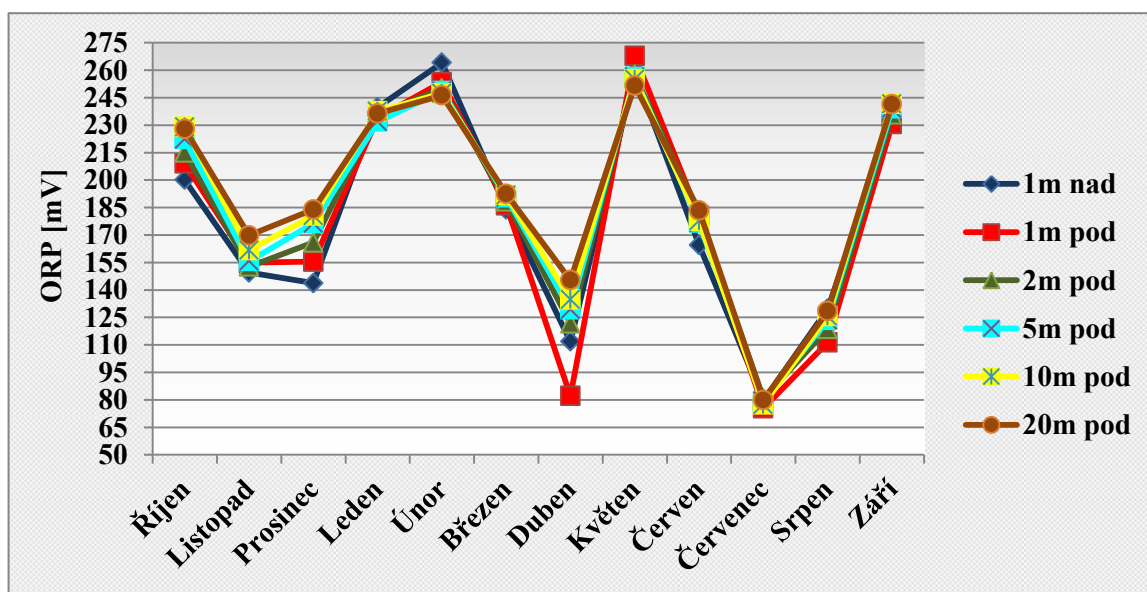
Podle konduktivity byl monitorovaný tok zařazen do II. třídy kvality vody jako voda mírně znečištěná ve všech odběrových místech (viz Tabulka 19).

Tabulka 19; Třídy kvality vody dle konduktivity v Hradištském potoce (říjen 2016 – září 2017)

| Konduktivita  | 1m nad | 1m pod | 2m pod | 5m pod | 10m pod | 20m pod |
|---------------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| Třída kvality | II     | II     | II     | II     | II      | II      |

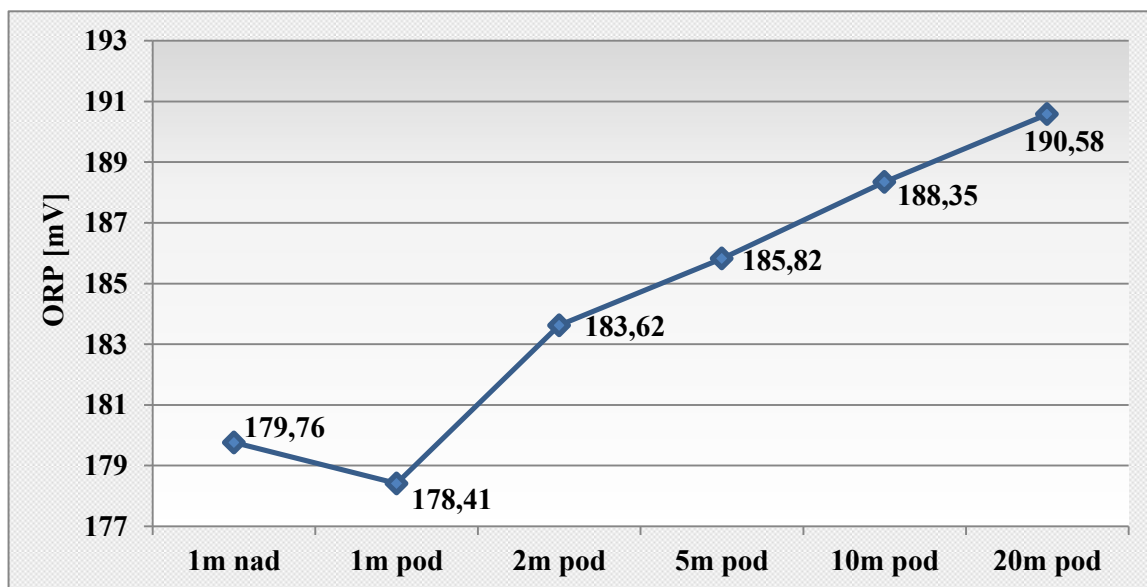
### 5.13 Oxidačně – redukční potenciál (ORP)

Hodnoty oxidačně – redukčního potenciálu během sledovaného roku markantně oscilovaly (viz Graf 44). Nejnižší hodnota byla naměřena v červenci v profilu 1 m pod MDCOV a to 75,4 mV. Ve stejném profilu byla naměřena i nejvyšší hodnota ORP v květnu 267,9 mV.



Graf 44; Vývoj ORP v podélném profilu Hradišťského potoka (říjen 2016 – září 2017)

V Hradišťském potoce se po dané délce toku průměrné roční hodnoty ORP postupně zvyšovaly (viz Graf 45).



Graf 45; Průměrné roční hodnoty ORP v podélném profilu Hradišťského potoka

## 6 ZÁVĚR

V současné době množství domovních čistíren odpadních vod v České republice stále roste zejména v oblastech, kde není možnost se připojit na veřejnou kanalizaci. Proto byl v roce 2017 Ministerstvem životního prostředí zřízen dotační program pro obce na podporu a realizaci MDČOV. Je třeba si ale uvědomit problém, který nastává hlavně u aktivačních MDČOV s procesem nitrifikace. Často v této MDČOV nedochází k úplnému odbourání amoniakálního dusíku vlivem nedostatečného množství rozpuštěného kyslíku, který je spotřebován řadou rozkladných procesů v čistírně. Z tohoto důvodu v recipientu koncentrace amoniakálního dusíku dosahují vysokých hodnot [16]; [30]; [55]; [56].

Cílem této práce bylo zhodnotit kvalitu vody v podélném profilu Hradišťského potoka, kterou ovlivňuje odpadní voda z MDČOV typu aktivace.

Výsledky získané v průběhu ročního monitoringu kvality povrchové vody v Hradišťském potoce byly z hlediska parametrů  $BSK_5$ ,  $CHSK_{Cr}$ ,  $N_{celk.}$ ,  $N-NO_2^-$ ,  $N-NO_3^-$ , pH a teploty vyhovující, jelikož nepřesáhly přípustné znečištění povrchových vod.

Naopak znepokojivé výsledky byly naměřeny u chemických parametrů  $N-NH_4^+$ ,  $P_{celk.}$  a rozpuštěného kyslíku ve všech odběrových místech. U  $N-NH_4^+$  a  $P_{celk.}$  došlo k překročení limitních hodnot přípustného znečištění povrchových vod. Kromě čtvrtého odběrového místa 5 m pod výpustí z MDČOV, kde průměrná hodnota celkového fosforu vyhovovala přípustnému znečištění pro povrchové vody. V případě nasycení vody kyslíkem nebyla dosažena požadovaná hodnota 9 mg/L dle NV č. 401/2015 Sb., pro povrchové vody ani v jedné monitorované lokalitě.

Průměrné roční hodnoty  $BSK_5$  nabývaly hodnot od 1,96 do 2,23 mg/L. Za celý sledovaný rok se neprojevila výrazná proměnlivost hodnot ani po 20 m od výtoku z MDČOV, nicméně hodnoty v tomto místě více kolísaly a rozsah zde byl vyšší než tomu bylo u ostatních odběrových míst. Hradišťský potok byl v odběrovém místě 1 m nad a 1 m pod vtokem odpadní vody z MDČOV zařazen do II. třídy kvality vody jako mírně znečištěná voda a ostatní odběrová místa byly zařazeny do III. třídy kvality vody jako znečištěná voda, a to svědčí o zhoršené kvalitě vody v toku. MDČOV se markantně na zvýšeném znečištění vody po 2 m, 5 m, 10 m a 20 m pod výpustí z MDČOV nepodílí,

neboť v recipientu 1 m pod vtokem odpadní vody byla voda mírně znečištěná a až v dalších odběrových místech se její kvalita zhoršila.

Z pohledu  $\text{CHSK}_{\text{Cr}}$  byl tok v prvních čtyřech profilech zařazen do II. třídy kvality vody a v posledních dvou profilech do III. třídy.

Poměr hodnot  $\text{BSK}_5:\text{CHSK}_{\text{Cr}}$  byl nejpříznivější v Hradišťském potoce v prvních čtyřech monitorovaných měsících od října 2016 po leden 2017, kdy hodnoty směrem po toku klesaly. Ve zmíněných měsících byly hodnoty ve všech odběrových místech typické pro povrchovou vodu kromě odběrového místa 1 m pod MDČOV. V některých měsících hodnoty naopak stoupaly nebo se takřka nezměnily. Celkem charakterizovalo biologicky vyčištěnou odpadní vodu 38 vzorků povrchové vody za hodnocené období ze všech odběrových míst. Charakteristickým hodnotám poměru  $\text{BSK}_5:\text{CHSK}_{\text{Cr}}$  odpadních vod odpovídaly celkem tři vzorky povrchové vody a dalších šest se k němu blížilo.

Hodnoty  $\text{N-NO}_3^-$  a  $\text{N-NO}_2^-$  byly natolik nízké, že byl tok ve všech odběrových místech zařazen do I. třídy kvality vody jako neznečištěná voda. Podle ukazatele  $\text{N}_{\text{celk.}}$  se tok řadil do II. třídy kvality vody.

Průměrné roční koncentrace  $\text{N-NH}_4^+$  byly natolik vysoké, že překročily přípustné znečištění povrchových vod až 7,8 krát a nabývaly hodnot od 1,5 do 1,8 mg/L. Nitrifikace v recipientu téměř neprobíhala vzhledem ke skoro stejným koncentracím  $\text{N-NH}_4^+$  po celé délce toku. Příčin proč nitrifikace v Hradišťském potoce neprobíhala, může být několik, mezi ty hlavní patří například nedostatek nitrifikačních bakterií v toku, vysoké koncentrace amoniaku a nedostatečné množství kyslíku. V recipientu se projevil nárůst koncentrace  $\text{N-NH}_4^+$  pod výpustí z MDČOV oproti odběrovému místu nad MDČOV o 0,28 mg/L. Vysoké hodnoty v prvním odběrovém místě jsou pravděpodobně zapříčiněny fekálním znečištěním z bodových zdrojů znečištění, které se na toku nacházejí. Voda je v Hradišťském potoce velmi silně znečištěna  $\text{N-NH}_4^+$  a řadí se do V. třídy kvality vody. Markantně vysoké hodnoty amoniaku jsou v toku velice závažné, neboť za zvýšené hodnoty pH a teploty probíhá disociace  $\text{NH}_4^+$  na  $\text{NH}_3$  intenzivněji a tato nedisociovaná forma amoniaku představuje vážné riziko pro ryby, poněvadž je pro ně toxická [1]; [2].

V podélném profilu dosahovaly průměrné koncentrace  $\text{P}_{\text{celk.}}$  0,13 až 0,27 mg/L, hodnoty byly během celého roku konstantní a většina z nich měla 0,20 mg/L, což je přibližně jednou tolik oproti povolené koncentraci. Nejnížší průměrná hodnota celkového

fosforu (0,13 mg/L) byla zaznamenána 5 m pod výpustí odpadní vody z MDČOV typu aktivace, hodnota v tomto místě vyhovovala jako jediná přípustnému znečištění povrchových vod. Příčinou nižší koncentrace celkového fosforu ve zmíněném úseku je pravděpodobná akumulace fosforu v dnových sedimentech, ve kterých se lehce váží fosforečnanové ionty na kovy Fe, Al, Ca a Mg a vytváří tak málo rozpustné fosforečnany kovů železa, hliníku, vápníku, popř. hořčíku [1]; [27]. V letních měsících došlo ke zvýšení koncentrace celkového fosforu v tomto úseku vlivem uvolňování fosforu ze sedimentu do vody v důsledku vyššího pH, klesající hodnotě ORP a  $O_2$ . V tomto případě by bylo dobré provést analýzu sedimentu. Podle ukazatele  $P_{\text{celk.}}$  byla kvalita vody v recipientu ve všech odběrových místech zařazena do III. třídy kvality vody jako voda znečištěná.

Obsah rozpuštěného kyslíku se v průběhu sledovaného období výrazně měnil s teplotou, s rostoucí teplotou obsah rozpuštěného kyslíku v recipientu výrazně klesal. Průměrné koncentrace rozpuštěného kyslíku ve vodě byly po celé analyzované délce toku ustálené, pohybovaly se v rozmezí 7,97 – 8,32 mg/L a dle těchto hodnot se všechny profilová místa v Hradišťském potoce řadila do IV. třídy kvality vody jako silně znečištěná voda.

Poslední vybraný ukazatel ze třídy kvality vody je konduktivita, u které byly hodnoty v lokalitě 1 m, 2 m a 10 m pod výtokem z MDČOV takřka konstantní. K vychýlení hodnot docházelo na odběrových místech 1 m nad čistírnou, 5 m a 20 m pod MDČOV. V prvním odběrovém místě průměrná roční hodnota konduktivity dosáhla 347,41  $\mu\text{S/cm}$ , což je o 16,18  $\mu\text{S/cm}$  více oproti nejnižší hodnotě 331,23  $\mu\text{S/cm}$  ve 20 m pod výpustí OV. Hodnoty však nejsou příliš velké a tok se podle ČNS 75 7221 řadí ve všech odběrových místech do II. třídy kvality vody jako voda mírně znečištěná.

V průběhu sledovaného období říjen 2016 – září 2017 nejvýrazněji oscilovaly hodnoty oxidačně – redukčního potenciálu podle obsahu rozpuštěného kyslíku, který je spotřebován rozkladnými procesy v recipientu [1]. Ve všech odběrových místech v recipientu byly v průběhu roku naměřeny kladné hodnoty ORP, které odpovídají aerobnímu prostředí [1]. Průměrné roční hodnoty ORP v recipientu nabývaly hodnot od 179,76 do 190,58 mV a ty jsou charakteristické pro anoxické vodní prostředí, kde převládají oxidační reakce [1]; [36]. Směrem po toku se hodnoty ORP postupně zvyšovaly s výjimkou druhého odběrového místa 1 m pod MDČOV.



Tato práce poukazuje na to, že kvalita povrchové vody v Hradišťském potoce je ovlivněna vyčištěnou odpadní vodou z domovní čistírny založené na aktivačním procesu. Na zhoršené kvalitě vody v tomto toce se výrazně podílí i ostatními zdroje znečištění vzhledem k naměřeným vysokým hodnotám zejména amoniakálního dusíku a celkového fosforu na odběrovém místě 1 m nad MDČOV. Takovými zdroji jsou s největší pravděpodobností bodové zdroje znečištění MDČOV, které se na celé délce toku nacházejí. Z výsledku je patrné, že se ani po dvaceti metrech nestačí projevovat samočisticí schopnost toku, což je pravděpodobně způsobeno velkým množstvím znečišťujících látek, které jsou do toku vnášeny odpadními vodami z bodových zdrojů znečištění, ale také proto, že je v tomto místě poměrně malá vodnost. Intenzivní zemědělská činnost v lokalitě Těrlicko-Hradiště samozřejmě kvalitě vody v toku také nepřispívá.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] PITTER, P. Hydrochemie. 4., aktualiz. vyd. Praha: Vydavatelství VŠCHT Praha, 2009. 568 s. ISBN 978-80-7080-701-9
- [2] LANGHAMMER, J. Kvalita povrchových vod a jejich ochrana. Praha: Katedra fyzické geografie a geoekologie, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, ©2002-2009. 223s. Dostupné z: [https://web.natur.cuni.cz/~langhamr/lectures/wq/skripta/skriptaWQ\\_2009\\_web.pdf](https://web.natur.cuni.cz/~langhamr/lectures/wq/skripta/skriptaWQ_2009_web.pdf)
- [3] WANNER, J. Čištění odpadních vod v ČR: vývoj a současná situace. *Vodní hospodářství* [online]. Praha, 2016 [cit. 2018-03-18]. Dostupné z: <http://vodnihospodarstvi.cz/cisteni-odpadnich-vod-cr/>
- [4] MŽP vyhlásilo nové dotace na domovní čističky odpadních vod. *Třetíruka* [online]. 2017 [cit. 2018-01-10]. Dostupné z: <http://www.tretiruka.cz/news/mzp-vyhlasil-nove-dotace-na-domovni-cisticky-odpadnich-vod/>
- [5] HÁJKOVÁ, M. Dotace na domovní čistírny odpadních vod: Kdo může žádat a kolik dostane? *Peníze.cz* [online]. 2016 [cit. 2018-01-10]. Dostupné z: <https://www.penize.cz/bydleni/317207-dotace-na-domovni-cistirny-odpadnich-vod-kdo-muze-zadat-a-kolik-dostane>
- [6] BRABEC, R. *Výzva č. 17/2017 k překládání žádosti o poskytnutí podpory: v rámci Národního programu Životního prostředí* [online]. Praha, 2017 [cit. 2018-01-10]. Dostupné z: [https://www.sfzp.cz/soubor-ke-stazeni/60/18288-vyzva\\_17\\_2017\\_dcov.pdf](https://www.sfzp.cz/soubor-ke-stazeni/60/18288-vyzva_17_2017_dcov.pdf)
- [7] PLOTĚNÝ, K. Odběry vzorků u domovních čistíren v souvislostech. *Vodní hospodářství* [online]. Brno, 2016 [cit. 2018-03-18]. Dostupné z: <http://vodnihospodarstvi.cz/odbery-vzorku-u-domovnich-cistiren-v-souvislostech/>
- [8] Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon) § 38. In: *Zákony pro lidi.cz*. 2001, částka 98/2001. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-254>

- [9] GRODA, B. et al. *Čištění odpadních vod jako nástroj k ochraně životního prostředí v zemědělské praxi a na venkově* [online]. Brno, 2017 [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: [http://eagri.cz/public/web/file/26962/cistení\\_odpadnich\\_vod.pdf](http://eagri.cz/public/web/file/26962/cistení_odpadnich_vod.pdf). Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně.
- [10] Odpadní vody. *Vodohospodářská zařízení II* [online]. Ostrava, 2014 [cit. 2018-01-02]. Dostupné z: [http://hgfl10.vsb.cz/546/VHZ2/3\\_odpadni\\_vody.html](http://hgfl10.vsb.cz/546/VHZ2/3_odpadni_vody.html)
- [11] HLUŠEK, J. MINERÁLNÍ HNOJIVA - DUSÍKATÁ [online]. Brno, 2004 [cit. 2018-03-20]. Dostupné z: [http://web2.mendelu.cz/af\\_221\\_multitext/vyziva\\_rostlin/html/hnojiva/mineralni/2formy.htm](http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/hnojiva/mineralni/2formy.htm)
- [12] ŠÁLEK, J., ŽÁKOVÁ, Z. a HRNČÍŘ, P. Přírodní čištění a využívání vody v rodinných domech a rekreačních objektech. Brno: ERA, 2008. 21. století. ISBN 978-80-7366-125-0.
- [13] Co je to šedá voda?. *Voda v domě?* [online]. Brno, ©2018 [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <http://www.vodavdome.cz/co-je-to-seda-voda/>
- [14] Odvádění odpadních a dešťových vod do kanalizace. *Vodohospodářské stavby* [online]. Prostějov, 2010 [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: <http://www.vodohospodarske-stavby.cz/clanek/odvadeni-odpadnich-a-destovych-vod-do-kanalizace/>
- [15] ŠÁLEK, J. a TLAPÁK V. Přírodní způsoby čištění znečištěných povrchových a odpadních vod. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2006. Technická knižnice autorizovaného inženýra a technika. ISBN 80-86769-74-7.
- [16] CIELECKÁ, N. Monitoring účinnosti čištění malé domovní čistírny odpadních vod - typu aktivace. Ostrava, 2016. Bakalářská práce. VŠB-TUO Ostrava, Hornicko – geologická fakulta, Institut environmentálního inženýrství.
- [17] ČISTÍRNY ODPADNÍCH VOD. *Morava - Ekol spol. s r.o.* [online]. Velké Hostěrádky, 2017 [cit. 2018-01-10]. Dostupné z: <http://www.morava-ekol.eu/cistirny-odpadnich-vod/>

- [18] Domácí čistička odpadních vod okem přísného úředníka. *Nech to plavat* [online]. Ostrava, 2018, 2018 [cit. 2018-01-04]. Dostupné z: <http://www.cisteniodpadnichvod.cz/domaci-cisticka-odpadnich-vod-okem-prisneho-urednika/>
- [19] Nařízení vlády č. 57/2016 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění odpadních vod a náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod podzemních. In: *Zákony pro lidi.cz* 2016, částka 21/2016. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-57>
- [20] Nařízení vlády č. 401/2015 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech. In: *Zákony pro lidi.cz*. 2015, částka 166/2015. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2015-401>
- [21] NIEDOBA, O. ES prohlášení o shodě. *GONAP* [online]. Mosty u Jablunkova, 2010 [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <http://www.gonap.cz/soubory/file61.pdf>
- [22] Největší znečišťovatelé vod. *Vítejte na Zemi* [online]. Praha: CENIA, ©2008 [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <http://www.vitejenazemi.cz/voda/index.php?article=82>
- [23] Total Nitrogen in Wastewater. *ASA Analytics* [online]. Parklawn, 2018 [cit. 2017-11-29]. Dostupné z: <https://www.asaanalytics.com/total-nitrogen-in-wastewater.html>
- [24] Celkový dusík. *IRZ* [online]. CENIA a Ministerstvo životního prostředí, 2017 [cit. 2017-11-14]. Dostupné z: <https://www.irz.cz/node/19>
- [25] Stanovení obsahu sloučenin dusíku ve vodách. *HYDROBIOLOGIE* [online]. Olomouc: Univerzita Palackého, 2010 [cit. 2018-04-22]. Dostupné z: [http://hydrobiologie.upol.cz/uploads/files/03\\_metody\\_stanoveni\\_obsahu\\_%20dusiku.pdf](http://hydrobiologie.upol.cz/uploads/files/03_metody_stanoveni_obsahu_%20dusiku.pdf)
- [26] Ekologické centrum Most. *Kvalita voda na vybraných profilech vodních toků: Jakost vod* [online]. Most, 2012 [cit. 2018-03-02]. Dostupné z: [http://ecmost.cz/DS/jakost\\_vody.pdf](http://ecmost.cz/DS/jakost_vody.pdf)
- [27] Celkový fosfor. *Arnika* [online]. Praha, 2014 [cit. 2018-03-03]. Dostupné z: <http://arnika.org/celkovy-fosfor>

- [28] CARPENTER, S. R. et al. NONPOINT POLLUTION OF SURFACE WATERS WITH PHOSPHORUS AND NITROGEN. *Ecological Applications*. USA, 1998, **8**(3), 559-568. DOI: 10.1890/1051-0761(1998)008[0559:NPOSWW]2.0.CO;2. ISSN 1051-0761. Dostupné také z: [http://doi.wiley.com/10.1890/1051-0761\(1998\)008\[0559:NPOSWW\]2.0.CO;2](http://doi.wiley.com/10.1890/1051-0761(1998)008[0559:NPOSWW]2.0.CO;2)
- [29] Water Temperature. *Fundamentals of environmental measurements* [online]. USA,, ©2016 [cit. 2018-03-03]. Dostupné z: <http://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/water-temperature/>
- [30] KLIMŠA, L. Malé domovní čistírny odpadních vod na Těrlicku. Ostrava, 2013. Bakalářská práce. VŠB – TUO Ostrava. Hornicko-geologická fakulta, Institut environmentálního inženýrství.
- [31] BENJAMIN, M. M. Water chemistry. Vyd. 1. Boston: McGraw-Hill, ©2002, xix, 668 p. ISBN 00-723-8390-9.
- [32] CHAPMAN, D. V. Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments, and water in environmental monitoring. 2nd ed. New York: E, 1996, xxi, 626 p. ISBN 0-419-21590-5.
- [33] Konduktivita. ANALÝZA A ÚPRAVA VODY [online]. 2016 [cit. 2018-02-17]. Dostupné z: <http://www.analyzavody.cz/vlastnosti-vody/konduktivita/>
- [34] Sensorex. *ORP Measurement* [online]. California, USA, ©2018 [cit. 2018-02-15]. Dostupné z: <https://sensorex.com/orp-oxidation-reduction-potential/>
- [35] ŽiváVoda.cz. *Co je to ORP?* [online]. Praha, 2018 [cit. 2018-02-15]. Dostupné z: <http://www.zivavoda.cz/co-je-to-orp/>
- [36] MALÁ, J. a MALÝ, J. *CHEMIE A TECHNOLOGIE VODY: CHEMIE PŘÍRODNÍCH A PITNÝCH VOD* [online]. Brno, 2012 [cit. 2018-02-15]. Dostupné z: <http://lences.cz/domains/lences.cz/skola/subory/Skripta/BC03-Chemie%20a%20technologie%20vody/chemie%20a%20technologie%20vody%20-%20Chemie%20prirodnich%20a%20pitnych%20vod.pdf>. MODUL M01. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, FAKULTA STROJNÍ.
- [37] ČSN EN ISO 5667-6 (757051). *Kvalita vod - Odběr vzorků - Část 6: Návod pro odběr vzorků z řek a potoků*. Praha: ÚNMZ, 2017.

- [38] Mapy.cz: *Základní mapa: Hradiště, Těrlicko* [online]. Praha: Seznam.cz, ©1996 [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=18.5249736&y=49.7337737&z=17&source=ward&id=3207&q=t%C4%9Brlicko%20hradi%C5%A1t%C4%9B>
- [39] ČSN 75 7342. *Kvalita vod – Stanovení teploty*. Praha: ÚNMZ, 2013.
- [40] ČSN ISO 10523 (757365). *Jakost vod – Stanovení pH*. Praha: ÚNMZ, 2010.
- [41] ČSN EN 27 888 (757344). *Jakost vod. Stanovení elektrické konduktivity*. Praha: ÚNMZ, 1996.
- [42] ČSN EN ISO 5814 (757463). *Kvalita vod - Stanovení rozpuštěného kyslíku - Elektrochemická metoda s membránovou sondou*. Praha: ÚNMZ, 2013.
- [43] ČSN 75 7367 (757367). *Jakost vod – Stanovení oxidačně – redukčního potenciálu (ORP)*. Praha: ÚNMZ, 2011.
- [44] ČSN EN 1899-1 (757517). *Jakost vod – Stanovení biochemické spotřeby kyslíku po n dnech (BSKn) – Část 1: Zředovací a očkovací metoda s přidavkem allythiomočoviny*. Praha: ÚNMZ, 1999.
- [45] ČSN ISO 15705 (757521) *Jakost vod – Stanovení chemické spotřeby kyslíku (CHSK<sub>Cr</sub>) – Metoda ve zkumavkách*. Praha: ÚNMZ, 2008.
- [46] ČSN EN ISO 11905-1 (757527). *Jakost vod – Stanovení dusíku. Část 1, Metoda oxidační mineralizace peroxodisíranem*. Praha: ÚNMZ, 1999.
- [47] ČSN EN ISO 6878 (757465). *Jakost vod – Stanovení fosforu – Spektrofotometrická metoda s molybdenanem amonným*. Praha: ÚNMZ, 2005.
- [48] ČSN ISO 7150-1 (757451). *Jakost vod. Stanovení amonných iontů. Část 1: Manuální spektrometrická metoda*. Praha: ÚNMZ, 1994.
- [49] ČSN EN 26777 (757452). *Jakost vod. Stanovení dusitanů. Molekulární absorpční spektrofotometrickou metodou (ISO 6777:1984)*. Praha: ÚNMZ, 1995.
- [50] ČSN ISO 7890-3 (757453). *Jakost vod. Stanovení dusičnanů. Část 3: Spektrometrická metoda s kyselinou sulfosalicylovou*. Praha: ÚNMZ, 1995.
- [51] ČSN 75 7221. *Kvalita vod – Klasifikace kvality povrchových vod*. Praha: ÚNMZ, 2017.

- [52] RICHTR, J. *Mobilita fosforu v povodí a metody jeho stanovení*. České Budějovice, 2008. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita, Přírodovědecká fakulta. Dostupné z: [https://theses.cz/id/j6iw3t/downloadPraceContent\\_adipIdno\\_5366](https://theses.cz/id/j6iw3t/downloadPraceContent_adipIdno_5366)
- [53] LAKE B. A. COOLIDGE, K. M. NORTON, S. A and AMIRBAHMAN, A. Factors contributing to the internal loading of phosphorus from anoxic sediments in six Maine, USA, lakes. *Science of the Total Environment*. Elsevier, 2007. 534-541 s. Dostupné také z: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.12.021>
- [54] Chemismus vody. *GV* [online]. Vodňany, ©2013 [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <http://ravz.cfme.net/ravz/water-chemistry.aspx>
- [55] PETRŮJOVÁ, B. *Účinnost čištění odpadních vod u malých domovních čistíren typu aktivace*. Ostrava, 2015. Diplomová práce. VŠB-TUO Ostrava. Hornicko-geologická fakulta, Institut environmentálního inženýrství.
- [56] KRIŠKA, M. MENŠÍK, P. NĚMCOVÁ, M. a FIALOVÁ, T. ODSTRAŇOVÁNÍ AMONIAKU FILTRAČNÍMI SYSTÉMY. *OS-ČAO-CZWA: Malé domovní čistírny a odlučovače* [online]. Dolní Morava, 2014 [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: [http://os-caoc.czwa.cz/doc/HORY2014/04\\_HORSKE\\_COV2014\\_KRISKA.pdf](http://os-caoc.czwa.cz/doc/HORY2014/04_HORSKE_COV2014_KRISKA.pdf)
- [57] Mapy.cz: *Základní mapa: Hradiště, Těrlicko* [online]. Praha: Seznam.cz, ©1996 [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=18.5300054&y=49.7356841&z=15&l=0&source=pubt&id=15270967&q=t%C4%9Brlicko%20hradi%C5%A1t%C4%9B>



## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

BSK<sub>5</sub> biochemická spotřeba kyslíku (za 5 dní)

CE certifikace

ČOV čistírna odpadních vod

ČR Česká republika

EO ekvivalentní obyvatel

CHSK<sub>Cr</sub> chemická spotřeba kyslíku (dichromanem draselným)

MDČOV malá domovní čistírna odpadních vod

N<sub>celk</sub> celkový dusík

NEK norma environmentální kvality

NH<sub>3</sub> amoniak

NH<sub>4</sub><sup>+</sup> amonný kationt

NL nerozpuštěné látky

N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> amoniakální dusík

N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup> dusitanový dusík

N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> dusičnanový dusík

NO<sub>2</sub><sup>-</sup> dusitany

NO<sub>3</sub><sup>-</sup> dusičnany

N<sub>org.</sub> organický dusík

NV nařízení vlády

O<sub>2</sub> rozpuštěný kyslík

OV odpadní voda

ORP oxidačně-redukční potenciál

P<sub>celk</sub> celkový fosfor

## SEZNAM OBRÁZKŮ

|   |    |
|---|----|
| Obrázek 1: Mapa s vyznačenými místy odběru [38] .....                             | 20 |
| Obrázek 2: Odběrové místo č. 4 a č. 5 v Hradištském potoce [Nikola Cielecká]..... | 21 |
| Obrázek 3: Odběrové místo č. 2 a č. 3 v Hradištském potoce [Nikola Cielecká]..... | 22 |
| Obrázek 4: Výpust' odpadní vody z MDČOV typu aktivace [Nikola Cielecká] .....     | 22 |
| Obrázek 5: Stanovení BSK <sub>5</sub> [Nikola Cielecká] .....                     | 23 |
| Obrázek 6: Thermoreaktor TR 300 [Nikola Cielecká] .....                           | 24 |
| Obrázek 7: Stanovení N <sub>celk.</sub> [Nikola Cielecká] .....                   | 24 |
| Obrázek 8: Stanovení P <sub>celk.</sub> [Nikola Cielecká] .....                   | 25 |
| Obrázek 9: Stanovení N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> [Nikola Cielecká] .....       | 25 |
| Obrázek 10: Stanovení N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> [Nikola Cielecká] .....      | 26 |
| Obrázek 11: Stanovení N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [Nikola Cielecká] .....      | 26 |

## SEZNAM TABULEK

|  |    |
|--|----|
| Tabulka 1: Technologie biologického čištění využívané MDČOV [16].....  | 5  |
| Tabulka 2: Minimální účinnost čištění CE MDČOV vyúsťujících do podzemních vod [19]<br>.....                              | 6  |
| Tabulka 3: Minimální účinnost čištění CE MDČOV vyúsťujících do povrchových vod [20]<br>.....                             | 6  |
| Tabulka 4: Garantované průměrné hodnoty účinnosti čištění MDČOV - Gonap 5Pb [21] ..                                      | 7  |
| Tabulka 5: Hodnoty poměrů BSK <sub>5</sub> a CHSK <sub>Cr</sub> [2] .....  | 10 |
| Tabulka 6: Procentuální zastoupení formy amoniaku, podle hodnoty pH [2].....   | 11 |
| Tabulka 7: Hodnoty ORP charakterizující vodní prostředí [36].....  | 17 |
| Tabulka 8: Vybrané ukazatelé a hodnoty přípustného znečištění povrchových vod [20]...27                                  |    |
| Tabulka 9: Třídy kvality vod, dle vybraných ukazatelů [51] .....   | 28 |
| Tabulka 10: Třídy kvality vody dle BSK <sub>5</sub> v Hradišťském potoce (říjen 2016 – září 2017) 30                     |    |
| Tabulka 11: Třídy kvality vody dle CHSK <sub>Cr</sub> v Hradišťském potoce (říjen 2016 – září 2017)<br>.....             | 32 |
| Tabulka 12: Poměr BSK <sub>5</sub> :CHSK <sub>Cr</sub> (říjen 2016 – září 2017) .....                                    | 33 |
| Tabulka 13: Třídy kvality vody dle N <sub>celk.</sub> v Hradišťském potoce (říjen 2016 – září 2017)<br>.....             | 36 |
| Tabulka 14: Třídy kvality vody dle N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> v Hradišťském potoce (říjen 2016 – září 2017)<br>..... | 37 |
| Tabulka 15: Třídy kvality vody dle N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> v Hradišťském potoce (říjen 2016 – září 2017)<br>..... | 43 |
| Tabulka 16: Třídy kvality vod dle N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> v Hradišťském potoce (říjen 2016 – září 2017)<br>.....  | 45 |
| Tabulka 17: Třídy kvality vody dle P <sub>celk.</sub> v Hradišťském potoce (říjen 2016 – září 2017)..47                  |    |
| Tabulka 18; Třídy kvality vody dle O <sub>2</sub> v Hradišťském potoce (říjen 2016 – září 2017).....                     | 53 |

|   |    |
|---|----|
| Tabulka 19; Třídy kvality vody dle konduktivity v Hradištském potoce (říjen 2016 – září 2017) ..... | 61 |
|---|----|

## SEZNAM PŘÍLOH

|  |   |
|--|---|
| Příloha 1: Odběr vzorku 2 m pod MDČOV [Nikola Cielecká] .....      | 1 |
| Příloha 2: Bodové zdroje znečištění Hradišťského potoka [57] ..... | 2 |

## PŘÍLOHY

**Příloha 1: Odběr vzorku 2 m pod MDČOV [Nikola Cielecká]**



Příloha 2: Bodové zdroje znečištění Hradištského potoka [57]

